This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

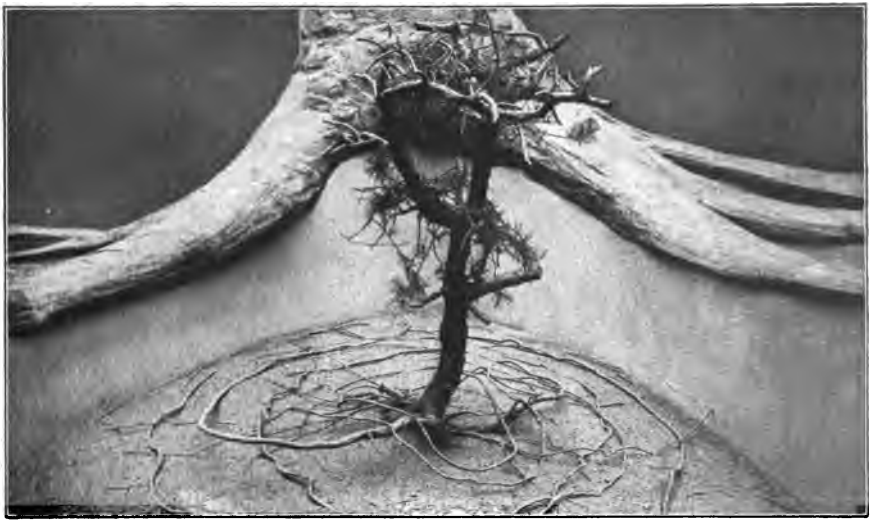
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

TN
800
P85
1921

Digitized by Google



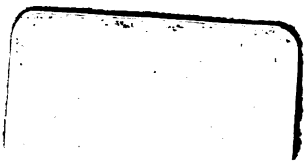
Stigmarie aus dem Piesberg bei Osnabrück mit horizontal verlaufenden unterirdischen Teilen; davor zum Vergleich eine Moorkiefer.

Digitized by Google

Tagebau im Senftenberger Braunkohlenrevier mit Stümpfen von Sequoia und Taxodium, die noch am ursprünglichen Standort der Bäume stehen.

Digitized by Google

LIBRARY
UNIVERSITY OF CALIFORNIA
DAVIS



Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

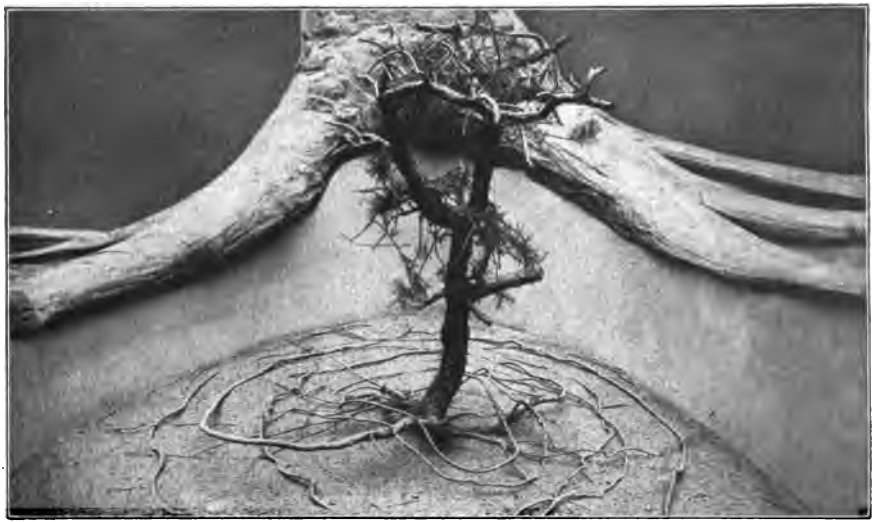
Potonié
Die Steinkohle

3 schwarze Tafeln

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google



Stigmarie aus dem Piesberg bei Osnabrück mit horizontal verlaufenden unterirdischen Teilen; davor zum Vergleich eine Moorkiefer.

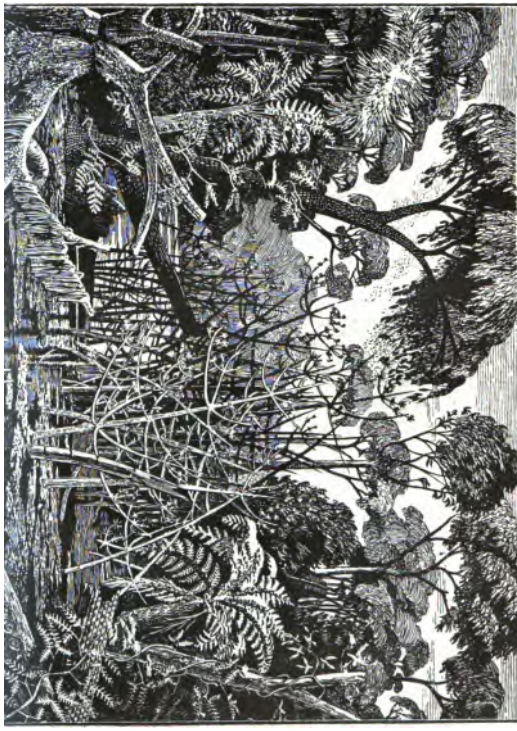
Digitized by Google

Tagebau im Senftenberger Braunkohlenrevier mit Stümpfen von Sequoia und Taxodium, die noch am ursprünglichen Standort der Bäume stehen.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google



Digitized by Google

Bergassessor Dr. P. KUKUK
BOCHUM, Bergstr. 135

Bücher der Naturwissenschaft
30. Band

Die Steinkohle
ihr Wesen und Werden

Von
Prof. Dr. Henry Potonié

Ergänzt und herausgegeben von
Dr. phil. Robert Potonié

Mit 3 Tafeln und 12 Abbildungen im Text

Leipzig 1921
Druck und Verlag von Philipp Reclam jun.

LIBRARY
UNIVERSITY OF CALIFORNIA
DAVIS

Copyright 1921 by Philipp Reclam jun., Leipzig

Übersetzungsrecht vorbehalten

Digitized by Google

Vorwort

Die Vorarbeiten zu dem vorliegenden Bändchen stammen aus dem Nachlaß meines 1913 verstorbenen Vaters, des Geheimen Bergrats Prof. Dr. Henry Potonié. Ich habe das leider in seinen Anfängen stecken gebliebene Manuskript ergänzt und mich dabei im wesentlichen auf zwei umfassendere Werke meines Vaters gestützt, nämlich auf seine Schrift „Die Entstehung der Steinkohle und der Kaustobiolithe überhaupt" (6. Auflage 1920) und auf das dreibändige Werk „Die rezenten Kaustobiolithe und ihre Lagerstätten" (1908—1912). Man wird es mir nicht verübeln, wenn ich weiter einige meiner eigenen kleinen Ergebnisse berührt habe, die von mir in verschiedenen Abhandlungen niedergelegt wurden.

Leider war es nicht mehr möglich, zwei der jüngsten Arbeiten unseres Gebietes zu berücksichtigen, die von hohem Interesse sind. Sie seien deshalb im Vorwort erwähnt. — In seinem neuesten Buch „Kohle und Erdöl", das er mit Lißner zusammen verfaßte, verharrt Ed. Donath, der bekannte Chemiker aus Brünn, auf seinem in diesem Büchlein dargestellten Standpunkt, Braunkohle und Steinkohle seien etwas durchaus Verschiedenes. Die erstere sei aus Holzgewächsen entstanden, die zweite aus Pflanzen, die noch nicht so weit waren, verholzende Stoffe erzeugen zu können. Demgegenüber gelangte Franz Fischer, der Leiter des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Kohlenforschung, in allerletzter Zeit zu einem ganz anderen Ergebnis. In einer zusammen mit

Digitized by Google

Digitized by Google

Wie gelangen wir zu näherer Kenntnis der Steinkohle?

Wenn wir nach der Entstehung oder Entwicklung von irgend etwas fragen, so wollen wir damit unseren Trieb nach näherer Erkenntnis zu befriedigen suchen. Es ist mit einer solchen Frage die stillschweigende Voraussetzung verknüpft, daß die früheren Zustände einfachere, uns bekanntere Verhältnisse aufweisen und uns dadurch die Möglichkeit geben, das Spätere, Verwickeltere zu verstehen.

Der Gelehrte verhält sich also eigentlich nicht anders als das Kind oder der Alltagsmensch, d. h. es gibt ganz allgemein nur eine Art, nur eine Methode der Erkenntnis, möge sie sich mit den alltäglichsten, mit den einfachsten Dingen beschäftigen oder mit den höchsten Problemen, die sich dem Menschen aufdrängen. Denn wenn ein Kind etwa ein mechanisches, so, wie es ihm entgegentritt, unverständliches Spielzeug zerstört, wenn ein Neger die ihm unbegreiflich erscheinende Uhr in ihre Bestandteile zerlegt, wenn der Forscher anatomische Untersuchungen anstellt, so handelt es sich durchgehends um denselben Trieb: sich das ihm vorläufig noch Unerklärliche dadurch zu klären, daß der Untersucher die einzelnen Bestandteile kennenlernt, in der Hoffnung, daß diese für ihn einfachere, bereits bekannte sein wer-

Digitized by Google

den und ihm so als Brücke dienen können, das Zusammengesetzte zu verstehen, namentlich wenn er dieses nun aus den Einzelheiten werden, entstehen sieht.

Wer unser Gebiet nicht nur dilettantenhaft — und Dilettanten haben sich bei dem großen Reiz des Gegenstandes nur gar zu viel um ihn gekümmert —, sondern eingehend und wissenschaftlich pflegt, sieht bald seine Schwierigkeiten, oder besser gesagt: seinen großen Umfang zumal dadurch gegeben, daß in erster Linie nicht weniger als drei wichtige Disziplinen schwerwiegend mitzureden haben: die Geologie, die Chemie und die Botanik. So ist denn schon hieraus ersichtlich, daß unser Gegenstand in der Tat ein sehr weitschichtiger ist.

Die Fülle von Schriften, die auf dem in Rede stehenden Gebiet in den letzten Jahren erschienen ist und noch immer vermehrt wird, ist ein Zeichen für das Bedürfnis von Wissenschaft und Praxis, in unserer Frage eine endgültige Antwort zu finden, und wir dürfen sagen, daß wir jetzt imstande sind, diese Antwort besser als früher zu geben.

Eine kurze Darstellung des so viel umstrittenen, zeitgemäßen Gegenstandes ist daher wohl am Platze.

Es ist ein Ausdruck für die weitschauenden Gesinnungen, die die Praxis beseelen, wenn sie aufmerkt und aufpaßt, wo sich etwa aus wissenschaftlichen Resultaten eine Hilfe für sie ergeben könnte, für sie, die hier doch selbst durch den Bergbau erst der Wissenschaft die Tatsachen zugänglich gemacht hat. So sind denn in unserem Fall Theorie und Praxis den Rädern eines edlen Streitwagens vergleichbar: nur wenn beide Räder die gleiche Größe und den gleichen

Digitized by Google

gediegenen Bau haben und dadurch ihre Zusammengehörigkeit bekunden, sind in dem Kampfe Siegestaten gewiß.

Das Antlitz unserer Erde hat sich im Laufe der Zeiten durch verschiedene Prozesse vielfach geändert. Bald haben sich weite Flächen gesenkt, so daß das Meerwasser auf einst trockenen Flächen mächtige Gesteinslager absetzen konnte, bald wieder sind Festländer emporgewachsen, auf denen Berge wurden, die die versteinerten Reste von Lebewesen des Meeres auf ihren Gipfeln tragen. So begreift es sich, wenn die Reste vorweltlicher Lebewesen oft in großen Tiefen der Erdrinde zu finden sind. Will man sich nun aber erklären, was dieser oder jener pflanzliche oder tierische Rest, der uns aus der Vorzeit überkommen ist, des näheren zu bedeuten habe, so werden wir die beste Antwort erhalten, wenn wir diesen Rest mit denjenigen Gebilden der Jetztzeit vergleichen, die ihm in jeder Beziehung am ähnlichsten sehen.

Die Steinkohlen entstammen nun gleichfalls einer alten Zeit und finden sich oft tief in der Erdkruste. Ganz ebenso, wie wir aber ein versteinertes Tier nicht mehr in seiner Lebenstätigkeit beobachten können, wie wir uns nur dann von der Funktion seiner Organe ein Bild machen können, wenn wir es mit heutigen Tieren vergleichen, so geht es auch mit den Steinkohlen. Wir müßten uns mit der Beschreibung ihrer Struktur, mit der Aufzählung ihrer physikalischen und chemischen Eigenschaften und ähnlichem begnügen, wenn uns nicht die Möglichkeit gegeben wäre, Bildungen zu studieren, die heute auf der Oberfläche unserer Erde ent-

Digitized by Google

stehen und die unter bestimmten Bedingungen vielleicht auch einmal zu Steinkohle werden könnten. Solche Bildungen haben wir namentlich in den Torflagern.

Die Steinkohle ist ja das wichtigste Mineral, das wir überhaupt besitzen. Sie ist besonders zu jenen Zeiten des Paläozoikums entstanden, die die Geologen nach ihr das produktive Karbon genannt haben. Sie tritt keineswegs an den Orten, wo sie sich findet, in nur einem Lager auf, sondern es wiederholen sich übereinander die Kohlenschichten („Flöze") in verschiedener Dicke („Mächtigkeit"), indem Schichten von Sandstein und Schieferton mit ihnen abwechseln. Diese eigentümliche Erscheinung deutet offenbar auf Senkungen der betreffenden Strecken zur Zeit der Bildung der Steinkohlenschichten, die nach Überdeckung mit Sand, Ton, überhaupt mit Gestein, eine oftmalige Wiederkehr gleicher Existenzbedingungen zur Folge gehabt haben. Nach jeder Senkung bis unter die Oberfläche des Gewässers ist dann die Vegetation, die, wie wir vermuten, die Kohle gebildet hat, von später erhärteten Schlamm- und Sandmassen bedeckt worden. Wollte man keine Senkungen annehmen, so müßte man mit ungeheuren, von sehr hohen Gebirgen ausgehenden Überschwemmungen rechnen, welche die bedeckenden Sand- und Tonschichten mitgeführt haben.

Die Steinkohle wird ihrer Farbe wegen auch Schwarzkohle genannt. Wie diese, so stammen auch fast alle anderen brennfähigen Gesteine von Lebewesen her — sie sind Kaustobiolithe (vom Griech. kaein = brennen, bios = Leben und lithos = Stein) — vielleicht mit alleiniger Ausnahme des natürlichen Schwe-

Digitized by Google

fels, der im wesentlichen oder so gut wie ausschließlich vulkanischer Tätigkeit seinen Ursprung verdankt, denn er kann sich z. B. aus warmen Quellen (Thermen) ausscheiden.

Von Kaustobiolithen spricht man nur, wenn es sich um Brennstoffe handelt, deren Herkunft auf Lebewesen oder ihre Teile zurückzuführen ist, sofern sie abgestorben und bereits eine Zersetzung eingegangen sind, und nur von diesen soll hier die Rede sein, während die anderen Brennstoffe, wie Holz und alle diejenigen, die durch technische Verarbeitung aus Organismen oder ihren Teilen oder aus Kaustobiolithen gewonnen werden, wie z. B. Spiritus, Benzin, Solaröl usw., hier von einer Betrachtung ausgeschlossen sind.

Wie dachte man früher über die Entstehung der Steinkohle?[1]

Eine der ersten Meinungen über den Ursprung der Steinkohle war die, sie sei ein Mineral, das ganz wie die anderen Mineralien stets auf unserer Erde vorhanden gewesen sei. Noch im 18. Jahrhundert wurde davon gesprochen, daß sie sich aus der Luft verdichtet habe.

Matthiolus glaubte, Stein gehe in Kohle über, wie Holz in Stein. Dies werde durch die Berührung mit gewissen Kohlen- oder Steinsäften bedingt, die in der Natur vorhanden wären.

1826 äußerte sich Ch. Keferstein über die Kohlenbildung und meinte, daß z. B. niemand behaupten

1 Vergl. auch Weithofer, „Die historische Entwicklung der Ansichten über die Entstehung der Kohlen und Kohlenflöze". N. Jahrb. Wien, Beil. Bd. XLI. 1916.

Digitized by Google

werde, es seien Vegetabilien, die den Kalktuff bilden. Fände man auch im Kalktuff Pflanzenreste, so werde man doch das kalkige Wasser als dasjenige ansehen, aus dem der Kalktuff hervorgehe. Ebenso seien es nicht die Pflanzen, aus denen sich der Torf bilde, sondern das torfige Wasser bringe ihn hervor.

Von den vielen historischen Daten der älteren Zeit ist noch interessant, daß Valerius Cordus bereits vor 1544 geäußert hat, die Kohlen seien pflanzlichen Ursprungs. Dies hat aber nicht gehindert, daß man späterhin immer wieder von dieser richtigen Meinung abkam. Trotzdem doch schon die Erzeugung von Kohlenstoff durch das Verbrennen von Holz und von pflanzlichen Stoffen überhaupt mit Macht auf den Gedanken hinwies, daß auch die „versteinerten", in der Erdkruste vorhandenen Kohlen pflanzlicher Herkunft sein dürften.

Von denjenigen Gelehrten, die schließlich endgültig bewiesen haben, daß die Steinkohle pflanzlicher Herkunft ist, sei hier noch der Botaniker H. F. Link genannt. Dieser stellte 1838 fest, daß die Steinkohle ganz wie der Torf aus einer mehr oder minder einheitlichen Grundmasse besteht, in der allerhand pflanzliche Reste mit Hilfe des Mikroskops noch gut zu erkennen sind.

Nun tauchte die nächste wichtige Frage auf: Wie konnten sich so große Mengen von Pflanzenleibern über- und nebeneinander anhäufen, um so kolossale Kohlenlager zu bilden, wie wir sie heute vorfinden.

Hier waren es zwei Anschauungen, die beide mit gleicher Energie vertreten worden sind. Einerseits meinte man: Anhäufungen, wie sie die Steinkohlenlager vor-

Digitized by Google

aussetzen, können nur durch große Ströme, jedenfalls aber nur durch Wasser zusammengeschwemmt worden sein. Die Steinkohlenlager seien allochthon (vom Griech. allos = ein anderer und chthon = die Erde), das heißt bodenfremd.

Andererseits nannte man die Steinkohlen schon 1838 den „Torf der Urwelt", und der hervorragende Moorkenner L. Lesquereux bezeichnete 1852 ein von ihm untersuchtes Moor als ein „Steinkohlenbecken" im Embryonalzustand. Hiernach wären die Kohlenlager autochthon (vom Griech. autos = derselbe und chthon = die Erde), das heißt bodeneigen.

Heutzutage sehen wir tatsächlich größere Anhäufungen von Pflanzenresten nur in den zahlreichen Torfmooren.

Die andere Partei plädierte indessen weiter für die Anschauung, die Steinkohlen seien aus zusammengeschwemmtem Pflanzenmaterial entstanden. Ebenso dachten sich die Gelehrten dieses Lagers die Entstehung des Torfs. Dies mutet uns heute sonderbar an, und doch war es kein anderer als A. v. Humboldt, der Veranlassung dazu gab, gewisse Bestandteile normalen Torfs für die Reste von Meerestangen zu halten.

Ein anderer in weitesten Kreisen bekannter Mann, der Dichter A. v. Chamisso, der als Botaniker am Berliner Botanischen Garten angestellt war, beschäftigte sich zu derselben Zeit mit der Zusammensetzung des Torfs. Im Gegensatz zu A. v. Humboldt fand er darin unter anderem Reste von Schilf, Wollgras und von anderen Gräsern. Die unterirdischen Teile dieser Pflanzen kann ein Nichtbotaniker allenfalls mit Tangen ver-

Digitized by Google

wechseln. Chamisso entdeckte also nichts, was im entferntesten an eine marine Entstehung des Torfs erinnert hätte. In der Tat ist denn auch bis jetzt nur ein einziges, ganz untergeordnetes und nicht abbaufähiges Vorkommen von Kohle bei Neunkirchen in der Eifel bekannt geworden, wo es sich wahrscheinlich um ein aus Tangen hervorgegangenes Produkt handelt. Solche seltenen Fälle kommen durch besondere Bedingungen zustande, wie beispielsweise durch eine nachträgliche Bedeckung großer, an den Strand geworfener Tangmassen durch Sand oder Ton, und zwar kann der Tang nur dann zu Kohle werden, wenn die Bedeckung einen hinreichenden Luftabschluß herbeiführt. Dieser Fall ist z. B. auf Helgoland beobachtet worden. Ausgedehnte, mächtige Kohlenlager kommen aber dadurch nicht zustande. Von besonderem Interesse ist es, daß solche Tangkohlen einen eigenartigen, von dem gewöhnlicher Steinkohlen abweichenden Charakter haben. Solche Kohlen sind nämlich viel wasserstoffreicher als gewöhnliche Steinkohle; sie weisen also schon dadurch auf ihre besondere Zusammensetzung hin.

Noch vor kurzem konnte niemand, der sein Urteil nicht auf eigene Untersuchungen gründete, nach der vorhandenen Literatur mit Sicherheit feststellen, ob die Steinkohlenlager aus zusammengeschwemmtem Material oder aus ehemaligen Torflagern entstanden sind, ob man sie als allochthon oder als autochthon bezeichnen muß. Der Hauptgrund dieser Tatsache ist der, daß man die Moore der Gegenwart immer nur in Einzelheiten zum Vergleich mit den Steinkohlenlagern herangezogen hat.

Digitized by Google

Da man aber einerseits die heutigen Moore nicht genügend kannte, und da andererseits derjenige, der vielleicht über die Moore hinreichende Kenntnisse hatte, wieder nicht in die Kenntnis der Steinkohlenlager eingedrungen war, so kam niemand auf die Idee, einmal alle die hier und dort beobachtbaren Einzelheiten zusammenzustellen und so die weitgehenden Übereinstimmungen aufzuzeigen, die zwischen Mooren und Steinkohlenlagern bestehen.

Wo die Tatsachen nicht haushoch kommen, da finden sich immer wieder entgegengesetzte Ansichten, die sich dann ebenfalls nur auf die Übereinstimmung von Einzelheiten stützen. Nach einem Ausspruch Melchior Neumayrs steht es sogar noch schlimmer. Neumayr meint, eine Ansicht komme nicht dadurch zur allgemeinen Annahme, daß die Gegner durch die Macht der Gründe widerlegt und überzeugt werden, sondern dadurch, daß sie aussterben.

Welches ist der Prozeß der Kohlenwerdung?

Es wäre nun angetan, sich die heutigen Moore genauer anzusehen. Zunächst scheint es jedoch geraten, die Zersetzungsprozesse darzustellen, die zur Entstehung des Torfes führen. Ist es uns klar, wie der Torf entstanden ist, so wissen wir gleichzeitig, wie jener chemische Prozeß begonnen hat, der zur Entstehung der Steinkohlen führte.

Wenn alle Pflanzenreste zu Torf würden, so müßten überall, wo überhaupt Pflanzenwachstum stattfindet, Torflager entstehen. Wir wissen aber, daß z. B. die im Herbst von den Bäumen fallenden Blätter meist

Digitized by Google

sehr schnell verwesen, d. h. sie verschwinden populär ausgedrückt vollständig. Wir sehen also, daß zur Entstehung des Torfs besondere Bedingungen nötig sind, die wahrscheinlich nicht überall bestehen.

Was ist aber zunächst eine Verwesung? Sie hat mit einem anderen bekannten Prozeß, der Verbrennung, das Gemeinsame, daß meist kein fester Rückstand übrigbleibt. Wir müssen demzufolge annehmen, der verwesende Körper habe sich in der Hauptsache in Gas oder Flüssigkeit verwandelt. Wenn Verwesung und Verbrennung diesen einen verwandten Zug zeigen, so werden sich vielleicht noch weitere Ähnlichkeiten finden lassen; in der Tat verbindet sich ein toter Pflanzenkörper bei der Verbrennung wie bei der Verwesung mit dem Sauerstoff der Luft, und zwar im wesentlichen zu der gasförmigen Kohlensäure und zu Wasser. Der Unterschied ist nur, daß der Prozeß im ersteren Falle wesentlich schneller und unter Flammenerscheinung vor sich geht.

Ein anderer Prozeß, den wir als Vermoderung bezeichnen, weicht von dem soeben geschilderten in einem wichtigen Punkte ab. Fallen z. B. in einem Laubwalde im Herbst sehr viele Blätter von den Bäumen, so werden sie den ganzen Waldboden dicht bedecken und sich oft zu einer beträchtlichen Schicht anhöhen. Geht dann vielleicht ein Regen nieder, so werden sich die naß werdenden Blätter dicht aufeinander packen. Dies wird die Möglichkeit der „flammenlosen Verbrennung" bedeutend einschränken, denn der Sauerstoff der Luft vermag jetzt nur noch schwer auf die Blätter einzuwirken. So erklärt es sich, daß wir z. B. in Laub-

Digitized by Google

wäldern eine schwarze Humusschicht, den Moder, vorfinden, die sich u. a. durch die alljährlich niederfallenden Blätter ergänzt. Immerhin pflegt in diesen Fällen die Einwirkung des Sauerstoffs noch stark genug zu sein, um die Mächtigkeit der Humusschicht in bescheidenen Grenzen zu halten.

Es ergibt sich nun von selbst diejenige Form der Zersetzung, die für uns von ausschlaggebender Bedeutung ist: die Vertorfung. Diese beginnt genau so wie jede Humusbildung. Da aber bei Gegenwart von viel ruhigem Wasser der Luftsauerstoff nur sehr wenig einwirken kann, weil sich in solchem stagnierenden Wasser nur außerordentlich wenig Sauerstoff löst; da weiter auf einer kaum entstandenen Humusschicht bei genügender Luftfeuchtigkeit schon wieder Pflanzen emporwachsen können, die den Zutritt des Sauerstoffs immer mehr erschweren, so leuchtet es ein, daß die sich zersetzenden Pflanzenreste immer mehr in eine neue Richtung der Zersetzung hineinkommen müssen. Können doch die erstgenannten Zersetzungsarten, die ja im weitesten Sinne Verbrennungen sind, ohne Luftstrom nicht vor sich gehen. Die neue Zersetzungsart, die unter solchen Umständen einsetzt, hat Liebig Fäulnis genannt.

Es ist für uns gleichgültig, ob für andere Zwecke der Begriff der Fäulnis besser anders zu definieren sein würde; wir wollen — im Anschluß an Liebig — als Fäulnis die Zersetzung organischen Materials unter völligem Luftabschluß verstehen.

Die höheren Pflanzen bestehen in der Hauptsache aus der Zellulose. Wenn sich nun auch die Zellulose

Digitized by Google

unter Luftabschluß recht lange hält, so geht sie doch allmählich einer Selbstzersetzung entgegen. Sie teilt hierin ihr Schicksal mit allen anderen Substanzen, aus denen die Organismen bestehen. Die Konservenbüchsen zeigen uns, wie sich die Technik die Tatsache zunutze macht, daß unter absolutem Luftabschluß diese Zersetzung nur außerordentlich langsam vor sich geht. Wir wissen jedoch, daß schließlich auch der Inhalt der Konservenbüchsen einer Zersetzung anheimfällt. Die Zellulose des Pflanzenkörpers besteht chemisch im wesentlichen aus Kohlenstoff und aus den Elementen des Wassers, dem Wasserstoff und dem Sauerstoff. Auf Näheres brauchen wir hier nicht einzugehen. Wenn also die Zellulose durch den Fäulnisprozeß zerfällt, so kann sie nur in Verbindungen zerfallen, die irgendwie aus diesen drei Elementen bestehen. Zunächst ist es das Bestreben des Sauerstoffs, sich aus der Bindung zu lösen, und er verflüchtigt sich im Laufe der Zeiten in Verbindung mit Wasserstoff als Wasser und in Verbindung mit Kohlenstoff als gasförmige Kohlensäure. Es entstehen also wieder diejenigen Verbindungen, aus denen sich die Pflanze einst aufgebaut hat. Das Auftreten größerer Mengen dieser Kohlensäure in den Kohlenbergwerken bezeichnet der Bergmann als schwere Wetter, Schwaden oder Stickwetter. Da nun in der Zellulose sehr viel mehr Kohlenstoff und Wasserstoff vorhanden ist, als der in der Zellulose enthaltene Sauerstoff in Form von Kohlensäure und Wasser zu binden vermag, so nimmt der Sauerstoff zwar bedeutend ab, von dem Wasserstoff und namentlich von dem Kohlenstoff bleiben aber beträchtliche

Digitized by Google

Mengen zurück, so daß endlich die Steinkohle ein Gemenge fester Kohlenwasserstoffverbindungen darstellt. Sobald der Sauerstoff in der entstandenen Kohle nur noch eine geringe Rolle spielt, trennt sich der übriggebliebene Wasserstoff in Verbindung mit dem Kohlenstoff als Gas ebenfalls ganz allmählich von dem Gestein. Aus dem praktischen Leben kennen wir diese Erscheinung durch die Schlagwetter. Hiernach wird es verständlich, warum man den Fäulnisprozeß, der im Gegensatz zu der allbekannten Verkohlung als Inkohlung bezeichnet wird, einen Selbstzersetzungsprozeß nennt. Von den Elementen, aus denen die Zellulose besteht, „verbrennt" sozusagen durch den eigenen Sauerstoff der Zellulose so viel, wie dieser zu binden vermag. So kommt es, daß sich der Kohlenstoff stetig anreichert. Zunächst sehen wir Torfe, dann Braunkohlen, endlich Steinkohlen und zuletzt Anthrazit; eine Reihe von Gesteinen mit immer mehr und mehr zunehmendem Kohlenstoffgehalt. Bei der Verkohlung dagegen wird ein Material durch Hitze einfach in seine Bestandteile zersetzt, so daß z. B. bei der Zellulose Gase entweichen und reiner Kohlenstoff zurückbleibt. Hier wird dem Leser der Unterschied zwischen Kohlenstoff und Kohle klar. Kohle besteht, wie schon angedeutet, aus Verbindungen von Kohlenstoff mit Wasserstoff. Kohlenstoff aber ist ein Element, das nicht weiter zersetzt werden kann.

Ein Unterschied zwischen Kohlenstoff und Kohle ist ja auch der, daß Kohle leicht geschmolzen werden kann, Kohlenstoff aber mit den bisherigen Mitteln der Technik nicht. Zwar wurde davon gesprochen, daß es

Digitized by Google

Lummer gelungen sei, Kohlenstoff im elektrischen Lichtbogen zu schmelzen. In Wahrheit scheint aber Lummer nur sehr kohlenstoffreiche Verbindungen zum Schmelzen und Sieden gebracht zu haben, so daß es also nach wie vor wenigstens der gewöhnlichen Technik unmöglich geblieben ist, reinen Kohlenstoff zu verflüssigen. Immer wieder hat man diesem Ziele entgegengestrebt, da man mit Recht glaubt, so der künstlichen Darstellung von Diamanten näher zu kommen. Ein Diamant ist ja nichts anderes als ein Kohlenstoffkristall bestimmter Modifikation.

Außer den Ablagerungen von höheren Pflanzen, wie sie uns in den Torflagern entgegentreten, gibt es nun in der Natur noch andere große Ansammlungen von toten Lebewesen. Auf dem Grunde ruhiger Gewässer findet sich ein organischer Schlamm, den ich Faulschlamm oder Sapropel (vom Griech. sapros = faul und pelos = Schlamm) genannt habe, weil er dem Fäulnisprozeß unterliegt. Er besteht aus den Leichen mikroskopisch kleiner Lebewesen, meist Algen, die ständig auf den Boden herabsinken und einen See schließlich ganz zu füllen vermögen. Die chemische Zusammensetzung dieser kleinen Organismen ähnelt mehr derjenigen der Tiere als der Pflanzen. Sie enthalten unter anderem mehr Eiweiß und mehr Fette und Öle als die Pflanzen gewöhnlich besitzen. So kommt es, daß das Produkt ihrer Selbstzersetzung ein anderes wird als das des Torfs. Es entstehen Kohlen, die wesentlich mehr Wasserstoff enthalten als die aus höheren Landpflanzen entstandenen. Oder aber es entstehen Gesteine, die man wegen ihres Gehalts an

Digitized by Google

organischen, zu wasserstoffreichen Verbindungen neigenden Stoffen, den Bitumina, als bituminöse Gesteine zu bezeichnen pflegt. Es sind dies besonders der bituminöse Kalk (beim Anschlagen unangenehm riechend, daher auch Stinkkalk genannt) und der bituminöse Ton, der da entsteht, wo als Wassertrübe Kalk oder Ton herbeigeführt wird und gleichzeitig mit den Resten der Lebewesen zum Absatz gelangt, wobei der Kalk freilich meist als Rest der Skeletteile von Organismen auftritt oder doch von diesen aus dem Wasser, das den Kalk in Lösung enthielt, zum Niederschlag gebracht wurde.

Ein solcher in großer Mächtigkeit und Menge unter dem Torf vorhanden gewesener Faulschlammkalk hat durch seine Schlammnatur, die er lange bewahrt, beim Bau des Teltowkanals oft große Schwierigkeiten bereitet, und auch der Untergrund Berlins setzt den Bautechnikern an manchen Stellen der Stadt durch das Vorhandensein dieser durch die Tätigkeit früherer Lebewesen hervorgebrachten Schlammart besondere Hindernisse entgegen. Es ist nicht zu verkennen, daß sicher oft viele Mühen und hohe unvorhergesehene Kosten hätten vermieden werden können, wenn die Eigenschaften und die Verbreitung der Faulschlammbildungen den Technikern besser bekannt gewesen wären.

Die folgende Tabelle wird dem näher Interessierten eine klare Übersicht über die besprochenen Zersetzungsprozesse geben und wird deutlich zeigen, wie verschieden die Endprodukte je nach der Art der sich zersetzenden organischen Reste sind.

Digitized by Google

Bezeichnung der Prozesse	Menge des begünstigenden Sauerstoffs	Menge des begünstigenden Wassers	Es handelt sich kurz um eine vollständige Verbrennung (Oxydation)	Entstehende Gesteine	
Verwesung findet statt	bei voller Gegenwart von Sauerstoff	und bei Vorhandensein von Feuchtigkeit		Es bleiben keine brennbaren Kohlenstoffhaltigen Produkte zurück (Oxydation) Diptobiolithe (s. S. 81 u. 189)	
Vermoderung findet statt	bei Gegenwart von weniger Sauerstoff	zunächst bei Vorhandensein von Feuchtigkeit, sodann bei Vorhandensein von Feuchtigkeit, sodann in Nähe dem Wasser	Zu Lösung	Feste Verbindungen, die Kohlenstoffreiche Kohlenwasserstoffe ergeben	Moder
Vermoderung findet statt	zunächst bei Gegenwart, sodann bei Abschluß von Sauerstoff				Gyttja
Fäulnis findet statt	bei Abschluß von Sauerstoff	und in Nähe dem Wasser	wesentlich um Selbstzersetzungen (Reduktionen)	Bitumisierung	Torf
Prozesse, denen besonders die echten Sumpf- und Sumpfpflanzen ausgesetzt sind				Feste Verbindungen, die kohlenstoffärmere (wasserstoffreichere) Kohlenwasserstoffe ergeben	Faulschlamm = Sapropel
Prozesse, denen besonders die echten Wasserorganismen ausgesetzt sind					

Digitized by Google

Wo entsteht heute brennbares Gestein?

Im vorigen Abschnitt wurde bereits kurz angedeutet, wo man heutzutage die Entstehung brennbarer Materialien beobachten kann. Besser sei brennbarer Gesteine gesagt, denn der Geologe sieht auch schon den Torf und den Faulschlamm als Gesteine an, trotzdem man sich im gewöhnlichen Sprachgebrauch unter einem Gestein etwas anderes vorstellt. Die Verallgemeinerung des Ausdruckes Gestein ist aus praktischen Gründen nötig, weil der Geologe nicht durch den Sprachgebrauch eine scharfe Grenze ziehen möchte, wo in Wahrheit keine vorhanden ist.

Daß der Torf brennbar ist, braucht als allbekannt kaum noch hervorgehoben zu werden. Ebenso wie der Torf sind aber noch viele Gesteine brennbar, die aus Lebewesen entstanden sind.

Wie dies auch ganz dem Gange der Entwicklung entspricht, ist es — wie schon oben betont — das beste, zunächst die Entstehung der heutigen brennbaren Gesteine kennenzulernen. Betrachten wir dann die Verhältnisse, wie sie z. B. in einem Steinkohlenlager herrschen, so wird uns vieles ohne weiteres klar werden, was wir anders kaum zu übersehen vermochten.

Nahe verwandt mit den Mooren sind die durch Mikroorganismen erzeugten echten Sümpfe. Sie sind mit organischem Schlamm, d. h. mit einem fließenden organischen Brei erfüllt und infolgedessen vollständig unbegehbare Wannen oder Strecken.

Bei ausnahmsweise niedrigem Wasserstand oder

Digitized by Google

nach künstlichen Seespiegelsenkungen kann der nackte Faulschlamm, noch unbestanden von Sumpfpflanzen, an der Oberfläche erscheinen, und wer diesen tückischen, breiigen Boden nicht kennt, der meint wohl, ihn betreten zu können (vergl. Fig. 1).

Es ist nun dieser Faulschlamm, das Sapropel, dem wir zunächst unser ganzes Interesse zuwenden wollen. Es wurde bereits erwähnt, daß es namentlich in stillen Gewässern entsteht. Nicht nur Seen und

Fig. 1. Schwarzer See bei Liebemühl in Ostpreußen mit Faulschlamm, der durch niedrigen Wasserstand sichtbar geworden ist und die Sonne weiß reflektiert. Im Vordergrund als Verlander stehen Rohrkolben (Typha). Rechts Birkenmoor.

Flußbuchten, sondern auch ruhige Stellen der Meeresküste bieten oft die geeigneten Entstehungsbedingungen. Ein bewegtes Wasser läßt keine Faulschlammbildung zu, denn der sich im Wasser lösende Sauerstoff genügt, um die absterbenden Lebewesen zur baldigen Verwesung und somit zum Verschwinden zu bringen. Mancher Leser wird sich an Seen erinnern, die so weit mit solchem Schlamm erfüllt sind, daß ein Boot das Wasser kaum noch zu befahren vermag. Dieser Schlamm ist oft derart breiförmig, daß jemand, der durch ein Unglück hineingerät, der größten Gefahr ausgesetzt ist.

Digitized by Google

Die für das unbewaffnete Auge nicht sichtbaren Lebewesen, die den Faulschlamm zusammensetzen, leben im Wassertropfen schwebend, weshalb man sie unter dem Namen Schwebeorganismen oder Plankton zusammengefaßt hat (vergl. Fig. 2). Ganz im Gegensatz zu dem, was man erwarten könnte, spielen die großen, das Wasser bevölkernden Lebewesen, wie z. B. die Fische, bei der Bildung des Faulschlamms kaum eine Rolle, ihre Gesamtmasse ist mit der der Mikroorganismen verglichen ganz minimal. Wie auch hier, so geht es so oft in der Geologie. Man sieht nicht nur direkt, sondern auch in allen möglichen übertragenen Bedeutungen das Sprichwort erfüllt: Steter Tropfen höhlt den Stein. Das Geringe, aber Beständige vermag während der unendlichen Dauer geologischer Entwicklungen mehr auszurichten als ein gelegentliches großes Vorkommen.

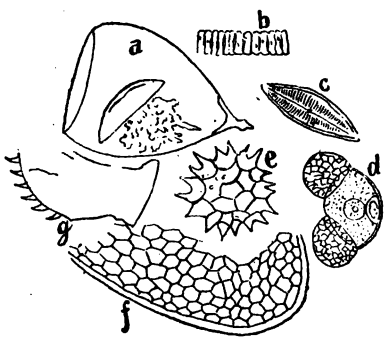


Fig. 2. Faulschlamm unter dem Mikroskop. a Ei einer Wasserwanze; b, c Diatomeenschalen; d Pollenkorn der Kiefer; e Pediastrum; f Daphnidenhaut; g Krustazeenrest.

Bedenkt man, daß Mikroorganismen sich sehr viel leichter ansiedeln als Makroorganismen wie Fische und

Digitized by Google

dergleichen, so erhellt leicht die Bedeutung des Planktons für die Faulschlammbildung.

Es gibt eine Erscheinung, die uns einen deutlichen Einblick in das massenhafte und schnelle Auftreten von solchen kleinen Lebewesen ermöglicht. Das Volk spricht von einer Wasserblüte. Zu gewissen Jahreszeiten und bei entsprechender Witterung sieht man an geeigneten Stellen das Wasser oft nur ganz wenige Tage lang völlig grün gefärbt. Es kommen aber auch andere Farben vor. Dies rührt oft von einem massenhaften und plötzlichen Auftreten winziger Algen her. Wenn dann der Wind ständig in derselben Richtung weht, dann werden diese unzähligen winzigen Algen oft am Ufer des Gewässers zusammengetrieben und man erblickt dann hier einen häufig ziemlich dicken Brei, der die Farbe der Algen hat.

Aber auch da, wo das Leben mikroskopischer Organismen nicht in so auffälliger Weise bemerkbar wird, verrät es sich dem kundigen Auge.

Wie in der Natur ganz reines Wasser aussehen muß, erfahren wir z. B. durch Kolkwitz aus seiner kleinen Abhandlung über die „Farbe der Seen und Meere". Er schreibt dort unter anderem: „Reine, tiefe Seen und Ozeane, wenn sie sehr arm sind an Plankton oder sonstigen feinen Schwebepartikeln, erscheinen, wenn man senkrecht von oben in sie hineinschaut, oft fast schwarz, da das eindringende Licht absorbiert wird und wegen der weitgehenden optischen Leere so gut wie gar nicht reflektiert werden kann. Versenkt man aber eine weiße Scheibe in das Wasser, so läßt diese durch Zurückstrahlung des Lichtes die natürliche Eigenfarbe erkennen.

Digitized by Google

In einem mit destilliertem Wasser erfüllten See würde die tief versenkte Sichtscheibe blau erscheinen, da nach Bunsen, Spring u. a. Blau die Eigenfarbe des chemisch reinen Wassers ist. Dieser Farbenton wird durch selektive Absorption der Spektralfarben des weißen Lichtes bedingt. Farbloses Wasser gibt es, theoretisch gesprochen, eigentlich überhaupt nicht; in einer Flasche kann es wohl so für das Auge erscheinen, aber in einer Schicht von mehreren Metern Dicke tritt über der Sichtscheibe immer die blaue Farbe hervor."

Wo also die Eigenfarbe eines Wassers nicht blau erscheint, da müssen irgendwelche fremden Bestandteile sein, die ihm die andere Farbe verleihen. Und in außerordentlich vielen Fällen sind diese Fremdkörper Mikroorganismen.

Schütt sagt hierüber: „Das reine Blau ist die Wüstenfarbe der Hochsee. Dem Grün der Wiesen vergleichbar ist die Vegetationsfarbe der arktischen Fluten, doch die Farbe üppigster Vegetation des größten pflanzlichen Reichtums ist das schmutzig grünliche Gelb der seichten Ostsee."

Diese kurze, treffende Charakteristik läßt uns wieder erkennen, wo die günstigsten Örtlichkeiten zur Bildung des Faulschlamms sind. Zeigt sich doch, daß im Ozean, wo die größte Wasserbewegung herrscht, die wenigsten Mikroorganismen vorkommen.

Der Faulschlamm findet sich fast niemals in ganz reiner Form, meist wird er von anderem Material durchsetzt. Das Wasser enthält z. B. oft größere oder kleinere Mengen feinen, anderswo aufgeschwemmten Tons, der sich mit den Leichen der Schwebeorganismen zu Boden

Digitized by Google

setzt. In diesem Fall erhalten wir einen Faulschlammton (vergl. auch S. 40).

Aber auch durch den Wind, der z. B. in Dünengelände Sand hineinbläst oder an andere Stellen sonstigen Staub („Löß"), entsteht ein gemischter Schlamm aus Sapropel und den erwähnten Zutaten.

Das Sapropel kann jedoch auch aus anderen Gründen viele nicht brennbare Produkte enthalten, nämlich dann, wenn in einem Wasser, das reich an Kalk ist, infolgedessen Organismen mit Kalkskeletten in Massen leben oder aber unter anderen Bedingungen Organismen mit Kieselskeletten.

Von diesen Sapropeliten sind besonders drei bemerkenswert; es sind das die Sapropelkalke, die Diatomeen-Pelite (Kieselgure) und gewisse Schlickarten, nämlich die schon genannten Sapropeltone.

Wir kennen eine Anzahl Pflanzen, die den Kalk, der sich im Wasser in Lösung befindet, als Skelettmaterial zu ihrem Aufbau und Halt benützen. Sie schlagen den Kalk in großen Mengen in sich nieder, wie gewisse Algen des Meeres. Andere Algen, die Charazeen der Süß- und Brackwässer und ferner manche höheren Pflanzen wie Laichkräuter (Potamogeten) usw., haben die Eigentümlichkeit, aus Wasser, welches Kalk in Lösung enthält, diesen Kalk an sich niederzuschlagen, der dann den Schlamm mehr oder minder kalkhaltig macht. Dazu kommen Tiere mit Kalkschale, wie Schnecken und Muscheln (Molluskeu). Wir erhalten so Kalksapropel oder bei reichlicherem Vorhandensein von Kalk Sapropelkalk, die beide zunächst ebenso schlammig sind wie frischer Faulschlamm

Digitized by Google

Ist der Sapropelgehalt durch vollständige oder fast vollständige Zersetzung verschwunden, so erhalten wir nichtbrennbare Biolithe, die wir gleich unter dem Namen der Akaustobiolithe kennenlernen werden.

Die Diatomeen-Pelite sind eine besondere Art von Sapropelgesteinen, entstanden in Gewässern, die viel Kieselsäure und wenig oder gar keinen Kalk in Lösung enthielten, so daß darin Kieselalgen an Stelle von kalkabsondernden Pflanzen besonders reichlich zu leben imstande waren. Die in Rede stehenden mikroskopisch kleinen Algen nennen die Botaniker Diatomeen (Fig. 2, bu. c). Die Panzer der Kieselalgen haben sich mit den anderen Pflanzen und den abgestorbenen Tieren (Krustazeen u. dergl.) auf den Boden gesenkt und haben hier durch ihre Anhäufung ein Gestein gebildet, das nun natürlich besonders reich an Kieselsäure in der Form von Kieselpanzern ist, und zwar — dieses sei für den mineralogisch Orientierten gesagt — bestehend aus hydratisierter Kieselsäure (Opal). Kieselgurablagerungen bestehen nicht ausschließlich aus Kieselpanzern, denn es haben in dem Wasser nicht nur Kieselalgen gelebt.

Die Kieselgur muß wegen der in ihr vorhandenen brennbaren kohlenstoffhaltigen Substanz für die Technik erst brauchbar gemacht werden: sie wird gebrannt. Man häuft sie in lufttrockenem Zustande in Stücken zusammen, und sie brennt dann nach der Entzündung vollständig weiß. Es erinnert dies an das Brennen von Holz in einem Meiler zu Holzkohle. Verhältnismäßig reine Kieselgur kommt in der Natur nur dort vor, wo eine nachträgliche Zersetzung und Auslaugung

Digitized by Google

möglich war. Die gebrannte Kieselgur wird unter anderem dazu verwandt, mit Nitroglyzerin (besser Glyzerintrinitrat) getränkt zu werden. Es entsteht so eine teigige Masse, der Dynamit, eine Kombination, die weder durch Stoß allein — wie das Nitroglyzerin — noch beim Anzünden explodiert, sondern nur durch Entzündung mit Knallquecksilber. Deshalb ist der Dynamit ein wichtiges Sprengmittel.

Das Sapropel und alle Gesteine mit wesentlichem Sapropelgehalt, mögen sie sich noch im Schlammzustande befinden oder im Verlaufe der Zeiten erhärtet sein, heißen Sapropelite.

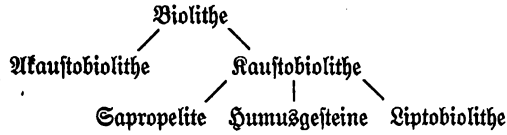
Trocknet reiner Faulschlamm an der Luft, so wird er oft derart hart, daß er nur mit Mühe mit dem Hammer zerschlagen werden kann. So ist es nicht verwunderlich, wenn die Sapropelite im Laufe der Zeiten oft nicht minder hart werden.

Man nennt also ein Gestein, das aus den echten Lebewesen des Wassers entstanden ist, Faulschlamm. Alles was demgegenüber aus den Sumpf- und anderen Landpflanzen hervorgeht, das wird als Humus bezeichnet. Der Torf ist demnach ein Humusgestein, und auch von der Steinkohle werden wir sehen, daß sie zu den Humusgesteinen gerechnet werden muß. Denn unter Humus sind ganz allgemein die bei der Zersetzung von Sumpf- und Landpflanzen zurückbleibenden festen (bzw. flüssigen oder gelösten) kohlenstoffhaltigen brennbaren Bestandteile zu verstehen, es läge denn der seltene Fall vor, daß die zurückbleibende Masse harziger oder verwandter Natur sei. Wir werden auf diese Besonderheit später zurückkommen und dann finden,

Digitized by Google

daß solche Harz- und Wachsharzkaustobiolithe eine Unterbringung in einer besonderen Gruppe, derjenigen der Liptobiolithe (vom Griech. leiptos [latinisiert liptos] zurückgelassen und biolith), verlangen.

Die Kaustobiolithe teilen sich demnach in drei große Gruppen: erstens in Sapropelgesteine (Sapropelite), zweitens in Humusgesteine und drittens in Liptobiolithe. Die Kaustobiolithe stehen den Akaustobiolithen gegenüber; das sind diejenigen Biolithe, also von Organismenresten erzeugte Gesteine, die nicht brennen, wie z. B. der Korallenkalk, die Kreide der Kreideformation und dergleichen, von deren Besprechung hier abgesehen werden muß. Übersichtlich ergibt sich demnach die folgende Einteilung:



Wir haben die Steinkohle bei den Humusgesteinen unterbringen müssen. Wenn wir uns also eingehend über sie unterrichten wollen, so werden wir der Entstehung heutiger Humusgesteine unsere ganz besondere Aufmerksamkeit zuwenden müssen.

Auch der Humus kann mit anderem Material vermischt vorkommen. Man erinnere sich zum Beispiel an die schwarzen Parkböden, die man meist ohne weiteres als Humus bezeichnet, die aber oft nur wenige Prozent von Humus enthalten. Diese Humuserde entsteht hauptsächlich durch die Arbeit der Regenwürmer.

Digitized by Google

Die Tiere ziehen abgefallene Pflanzenteile in ihre Röhren und vermischen so mit der Zeit den Boden mit Humusbestandteilen. Die Humusbestandteile aber besitzen die Eigenschaft, außerordentlich stark zu färben; deshalb hält man leicht ein Gestein, das nur wenige Prozent Humus birgt, für reinen Humus.

Überall da, wo eine üppige Vegetation von Sumpfpflanzen zu gedeihen vermag, sind die Bedingungen zu größeren Humusablagerungen gegeben. Sobald dann ein Humuslager eine gewisse Mächtigkeit erlangt hat, spricht man von einem Moor. Der Humus solchen Moores heißt nun Moortorf.

Ein Moor ist also ein Gelände mit einem mächtigeren Torfboden.

Da die chemische Zusammensetzung der Sumpfpflanzen eine ganz andere ist als die der echten Wasserorganismen, so erscheint es nicht wunderbar, wenn das, was hier und dort entsteht, etwas ganz Verschiedenes ist. Bestehen doch die Sumpfpflanzen wesentlich aus Zellulose, während die echten Wasserorganismen unter anderem einen höheren Fettgehalt besitzen. Deshalb liefern auch die Faulschlammgesteine bei der Destillation andere Endprodukte als die aus Torfen hervorgegangenen Gesteine.

Es gibt somit wohlcharakterisierten fossilen Faulschlamm und typischen fossilen Humus.

Die mikroskopische Untersuchung eines Faulschlamms oder eines Humusgesteins jeglichen Alters verrät ohne weiteres, woraus das betreffende Gestein entstanden ist. In dem ersteren Fall finden sich Mikroorganismen, in dem zweiten die Reste höherer Pflanzen, die in eine

Digitized by Google

homogene Grundmasse eingebettet sind. Die homogene Grundmasse der Humusgesteine erklärt sich zum Teil aus dem folgenden.

Unter den Produkten der Humusbildung sind gewisse im Wasser löslich (die sog. Humussäuren); diese werden dann gern von Bächen und Strömen fortgeführt. Das ist auch ein Transport von organischem Material, und es ist angenommen worden, daß solche Wässer, die „Schwarzwässer", durch Niederschlag von „Humussäuren", die sie in Lösung enthielten, die Steinkohlen gebildet hätten (vergl. S. 12). Schwarzwässer sind in Brasilien häufig (der Rio Negro hat von der dunklen Farbe seinen Namen), in Schottland (Bäche und Seen) können sie beobachtet werden, und auch der Kongo gehört zu den Schwarzwässern. Sobald diese Wässer aber auf das Meer hinauskommen, und auch während ihrer Bewegung zum Meere hin, zersetzen sich die organischen Bestandteile, es bleibt schließlich „nichts" übrig.

Beobachtet worden sind wesentlichere Ablagerungen von löslichen Humusstoffen und deren „Verbindungen" nicht; nur untergeordnet sind sie zu konstatieren, wie in Torfen der Dopplerit, der niedergeschlagene Humussäure ist, ebenso wie die verkittende Substanz des Humus„orts" und wahrscheinlich auch gewisse Bestandteile der homogenen Grundsubstanz des Humus.

Der Humusort entsteht in der folgenden Weise. Wo eine Humusbedeckung entstanden ist, wird der Mineralboden unter dem Humus durch Infiltration von Humussäure mehr oder weniger stark entfärbt; infolge der Auflösung (Auslaugung) leichter löslicher

Digitized by Google

mineralischer Bestandteile (Eisen- usw. -Verbindungen), die tiefer geführt sich dort wieder ausscheiden, bildet sich eine Orterde (bei noch erdiger Beschaffenheit); bei uns speziell handelt es sich, da in derselben Zone auch die Humussäure zum Niederschlag kommt, um Humusorterde, oder wenn die „Humussäure" die Gesteinspartikel miteinander verkittet, um Humusortstein.

Es könnte hier eine ganze Reihe von Stätten beschrieben werden, auf denen sich heute Humus bildet; für uns genügt es jedoch zu wissen, daß die Hauptbildungsstätten von Humusgesteinen die Moore sind. Schon was die Menge des erzeugten Humus betrifft, können nur die Moore mit den Steinkohlenlagern verglichen werden. Sobald ein lebendes, sich ständig anhöhendes Moor entwässert wird, verwandelt es sich in ein totes, d. h. in ein sich nicht mehr anhöhendes Moor. Haben wir doch gesehen, daß Torf nur dort zu entstehen vermag, wo die sich zersetzende Pflanzensubstanz durch möglichst unbewegtes Wasser von dem Sauerstoff der Luft getrennt ist.

Es ist schade, daß die lebenden Moore durch viele künstliche Entwässerungen bei uns immer seltener werden. Sind doch gerade die Moore ein Landschaftstyp, der für unsere Heimat in hervorragendem Maße charakteristisch war. Ja man kann geradezu sagen, Deutschland ist einstmals ein Moorland gewesen. Als Tacitus den Römern von dem wilden Germanien erzählte, da betonte er ausdrücklich, daß es „im allgemeinen mit finsterem Urwald oder wüsten Sümpfen bedeckt" sei. Und auch Prokop teilte vom Niederrhein mit, dort befänden sich Sümpfe, in denen in alten Zeiten die Ger-

Digitized by Google

manen gehaust hätten. In der Tat weiß man, daß in Norddeutschland nicht weniger als ein Zwölftel der Gesamtfläche des Landes einst mit Mooren bedeckt gewesen ist.

Man findet noch heute oftmals tief im Torf Knüppeldämme, das sind die „pontes longi“ der Römer. Ein Cäsar und andere römische Feldherren haben sie bauen lassen, um ihren Soldaten den Übergang über das gefährliche Gelände zu ermöglichen.

Woran mag es nun liegen, daß bei uns trotz der noch heute recht beträchtlichen Häufigkeit der Moore in Deutschland auf dem Gebiet der Moorkunde keine hinreichende allgemeine Kenntnis vorhanden ist? Der Grund ist wohl eben darin zu finden, daß vor dem Beginn der neuzeitlichen, ordentlichen Moorforschungen in Zentraleuropa die meisten Sumpf- und Moorgelände als *solche* vernichtet worden sind. Der heutige Forscher muß demnach, zumal in den alten und älteren Kulturländern, das Gelände meist mühsam in seiner Phantasie, vor seinem geistigen Auge wiedererstehen lassen, um eine Anschauung zu gewinnen, wie es natürlicher Weise war und ohne Kultur wäre. Er muß jetzt die wenigen entlegenen Stellen, die dem Urzustand noch mehr oder minder nahekommen, aufsuchen, um die nötige Auskunft zu erhalten.

Auf meinen mehrjährigen Bereisungen von Moorgebieten Zentraleuropas habe ich selbst nirgends mehr größere Moorgelände angetroffen, die vollkommen von der Kultur unberührt gewesen wären, und das ist ja auch bei den langen Kultureinflüssen begreiflich. Aber sogar auf einer Bereisung Südkanadas vom Atlanti-

Digitized by Google

schen bis zum Stillen Ozean war es bereits schwierig, vollkommen intakte Moore zu finden, denn wir leben in einem Zeitalter künstlicher Entwässerungen. Auch die offenen, kleineren Gewässer fallen vielfach der Kultur immer mehr zum Opfer: haben doch nach der Berechnung Walsers die kleinen Seen allein im Kanton Zürich innerhalb der letzten 250 Jahre um die Hälfte abgenommen; von 149 sind sie dort auf 76 herabgegangen. So ist es denn schon aus diesem Grunde verständlich, wenn heute, im allgemeinen wenigstens, die Einsicht in die naturhistorische Bedeutung der Sumpf- und Moorgelände fehlt, um so mehr als die Hauptverkehrswege und die Ansiedlungen Sumpf- und Moorland jetzt naturgemäß nach Möglichkeit meiden, während in der vorhistorischen Zeit verschlammende und vertorfende Gewässer aufgesucht wurden, wie die am Boden der ehemaligen Seen unter dem Torf, und zwar oft in dem darunterliegenden Sapropelit aufgefundenen Reste der Bewohner von Pfahlbauten lehren. Waren doch gerade diese Wohnstätten bei ihrer etwas erschwerten Zugänglichkeit vorteilhaft durch die natürlichen Verhältnisse geschützt. Daß sich heute noch Teile alter und älterer Volksstämme in ziemlicher Reinheit bei uns vorfinden, wie die Litauer im Memeldelta, ferner die Sorben (Wenden) im Spreewald und die Friesen an der Nordsee, ist auf den Schutz zurückzuführen, den große Moore bis noch vor kurzem geboten haben, denn sie waren tiefgreifende Scheiden zwischen hüben und drüben.

Man kann drei Haupttypen von Mooren unterscheiden, deren Verschiedenheit durch die verschiedene Menge der den Pflanzen zur Verfügung stehenden

Digitized by Google

Nahrung bedingt wird. Je geringere Nahrung vorhanden ist, desto kümmerlicher ist auch die Vegetation, die das Moor bedeckt.

Die üppigsten Moore sind die Flachmoore, weit weniger strotzend sind die Zwischenmoore, den armseligsten Eindruck aber gewährt ein Hochmoor. Wenn nun auch jeder der genannten drei Typen eines Tages an irgendeiner günstigen Stelle ohne weitere Einleitung entstehen kann, so kommt es doch sehr häufig vor, daß nacheinander alle Typen auf derselben Stelle erscheinen. Am besten wird man sich über die Einzelheiten der Moorentstehung klar, wenn man alle diese Typen da, wo sie in dieser Weise nacheinander und nebeneinander auftreten, an seinem Auge vorüberziehen läßt.

Im ruhigen und daher sauerstoffarmen Wasser eines Sees höht sich oft der Faulschlamm ständig an. Am Rande des Gewässers finden sich Sumpfpflanzen ein, die überall da, wo das Wasser durch die Faulschlammanhöhung nicht mehr zu tief ist, von dem Untergrund Besitz ergreifen. Die Ufervegetation des Sees wird also in das freie Wasser hineinwachsen und die Wasserfläche wird so kleiner und kleiner werden. Alles an solchem See mit Ausnahme des Wassers stammt dann von Lebewesen her. Es ist unmöglich, sich dem Ufer zu nähern, denn die dünne Pflanzendecke, die den breiigen Faulschlamm überzieht, vermag einen Menschen nicht zu tragen. Die torfbildenden Sumpfpflanzen rücken ständig der Mitte des Sees entgegen, bis schließlich von seinem immer kleiner werdenden Wasserspiegel nichts mehr übrigbleibt (vergl. Fig. 1). Während sich so der Spiegel des Sees zuzieht, höht sich der Torf

Digitized by Google

fortwährend an, und aus dem zuerst unbegehbaren Sumpf wird ein Moor.

Aber ruhigere Seen können auch durch Torfbildung vom Rand des windgeschützten Ufers aus verlanden, bevor sie derartig mit Sapropelit erfüllt sind, daß dieser den Sumpfpflanzen als Boden dienen kann; denn schwimmende Vegetationsdecken vermögen vom Ufer aus ins Wasser hineinzustreben, hinauszuwachsen, Vegetationsdecken, die, indem sie Torf bilden, schließlich dick genug sind, um Menschen zu tragen, freilich auf einem schwingenden Untergrund, wie er bei der schlammigen Beschaffenheit von Seen, die mit Sapropel erfüllt sind, nach ihrer Vertorfung naturgemäß zunächst ebenfalls vorhanden ist. Schließlich wird aber die Torfdecke, indem sie immer tiefer einsinkt, so mächtig, daß der Boden zum Stehen kommt. Hiernach kann man unterscheiden: Schwingmoore und Standmoore. Die Oberfläche beider ist im ganzen zwar meist naß, aber offenes Wasser tritt nur untergeordnet auf. Betritt man ein Schwingmoor, so fühlt man deutlich, wie sich der Boden unter den Schritten hebt und senkt.

Es gibt aber noch eine andere Art von Mooren, die erwähnt werden muß. Wo ein See eine so geringe Tiefe besitzt, daß auf seinem ganzen Grunde eine Sumpfflora aufzutreten vermag, da erhalten wir ein Sumpfmoor, das ist ein Moor, bei dem das Wasser zwischen den Füßen der Moor- und Sumpfpflanzen offen dasteht.

Alle die genannten Moortypen können sich sehr bald mit Bäumen besiedeln. In unserer Heimat sind es meist die Erlen, die sofort solche Stellen besetzen (Fig. 3).

Digitized by Google

Da wir die Flachmoore so besonders eingehend besprechen, soll gleich hier betont werden, daß die Moore, aus denen die Steinkohlenlager geworden sind, fossile Flachmoore gewesen sein können. Weiter soll schon jetzt darauf hingewiesen werden, daß die Pflanzen, deren Reste sich in den Steinkohlenlagern finden, uns tropisch anmuten, so daß man also sagen muß, die Steinkohlenlager seien fossile Tropenflachmoore. Es wäre daher am Platze, hier die genaue Beschreibung eines Tropenflachmoors zu bringen, aber schon aus pädagogischen Gründen ist es besser, wenn wir zunächst unsere einheimischen Moore zum Vergleich heranziehen. Besonders großzügige Moorgelände finden wir bei uns in Ostpreußen in den Deltagebieten des Memel- und Nemonienstromes, so z. B. den „großen Moosbruch". Vor langen Jahrhunderten ist das Kurische Haff weit größer gewesen als heute. In dem Wasser des Haffs hat sich aber im Laufe der Zeiten Feinsand abgesetzt, den das Wasser der Flüsse an

Fig. 3. Erlensumpfmoor im Memeldeltagebiet, wie es aber z. B. auch im Spreewald vorkommt.

Digitized by Google

anderer Stelle aufgeschwemmt hat, und gleichzeitig ist dort Faulschlamm entstanden, so daß sich das Haff langsam mit einem Gemisch dieser beiden Gesteine gefüllt hat und noch weiter füllt. Die Winde, die fast stets in derselben Richtung über das Haff streichen, treiben den Feinsand und den Faulschlamm dem Ufer zu, wodurch ein Untergrund entsteht, der bei dem dortigen Klima für die Entstehung eines Torfbodens ganz besonders gut geeignet ist. Wenn wir die jetzt torfbedeckten Stellen untersuchen, die früher dem Haff angehört haben, so finden wir infolge der soeben dargelegten Entstehungsweise des Geländes unter dem Torf einen Faulschlammsand. Je weiter wir uns von der Küste entfernen, desto mächtiger ist die Torfschicht, die unser Bohrer durchsticht und die den Faulschlammsand bedeckt.

Wir wollen jetzt in Gedanken eine Wanderung antreten und uns dabei beständig von der Küste des Kurischen Haffs entfernen. Nacheinander kommen wir hierbei durch die meisten der Moortypen, die vorhin aufgezählt worden sind. Dadurch nämlich, daß sich der Torf immer mehr anhöht, und schließlich den unter ihm befindlichen Faulschlammsand durch seine Last nicht mehr zusammenpressen kann, entfernt sich die Vegetationsdecke immer mehr von dem Grundwasserspiegel. Es entsteht hierdurch, wohlbemerkt, kein Wassermangel, denn in dem Torf wird das Wasser wie in einem Schwamm gehalten. Weiter besteht eine genügende Luftfeuchtigkeit, und auch die Niederschläge helfen das Wasser immer wieder ersetzen. Nun ist aber, wie schon wiederholt betont worden, da, wo Moore ent-

Digitized by Google

stehen, die Wasserzirkulation eine sehr geringe, und so kommt es, daß die im Grundwasser vorhandenen Salze, die mineralische Nahrung der Pflanzen, schon bald nicht mehr bis zur Vegetationsdecke hinaufzubringen vermögen. Dies verursacht die Wandlungen des Moores.

Es sei nun mitgeteilt, was wir auf unserer Wanderung erblicken.

Sobald sich am Rande des Haffs der nötige Untergrund gebildet hat, siedelt sich die Pflanzengemeinschaft der Verlander an. Von diesen fällt uns besonders das Schilfrohr auf. Weiter landeinwärts sehen wir einen überschwemmbaren Wiesenflachmoorstreifen mit vielen sauren Gräsern (Seggen). Größere Gewächse können hier noch nicht gedeihen, denn vom Kurischen Haff kommt allwinterlich ein oft mächtiger Eisschub, der allen Baumwuchs in der Nähe des Ufers verhindert. Erst außerhalb des Wirkungsbereichs des Eisschubs beginnt die Bewaldung mit Schwarzerlen. Da in dieses Erlenmoor das Wasser des Haffs häufig durch Überschwemmungen hineinkommt und dann zwischen den Baumstämmen steht, so müssen wir dieses Moor als ein Erlensumpfmoor bezeichnen (Fig. 3). Es dehnt sich über mächtige Flächen Landes und ist zwischen den Stämmen der Erlenbäume allenthalben mit Sumpfpflanzen bewachsen, die es vertragen können, häufig ganz im Wasser zu stehen. So erblicken wir hier das Schilfgras (Glyceria fluitans) und die Sumpfschwertlilie (Iris pseudacorus), die den in unseren Gärten wachsenden Schwertlilien an Größe und Form sehr nahekommt, aber dottergelbe Blüten trägt.

Nehmen wir nun einmal an, das Land, auf dem

Digitized by Google

unser Erlensumpfmoor steht, senke sich in demselben Maße wie sich der Torf anhöht, so würde der Torf des Sumpfflachmoors eine große Mächtigkeit erlangen können, denn ständig würde sich die Oberfläche des Torflagers unter dem höchsten Wasserstand des Haffs befinden. Der Torf hat schon ohnedies eine recht beträchtliche Mächtigkeit erlangt; träte also der neue Faktor hinzu, so würden wir ohne allen Zweifel Ablagerungen von Flachmoortorf erhalten, die, einmal zu Kohle geworden, von einer Mächtigkeit sein würden, wie wir sie für unsere Steinkohlenlager voraussetzen müssen. Wenn wir also heutzutage nirgends ein Torflager vorfinden, das eine solche Mächtigkeit besitzt, so dürfen wir nicht vergessen, daß wir uns gegenwärtig nicht in einer Periode besonders starker Gebirgsbildung befinden, d. h., daß gegenwärtig nirgends derartig großzügige Landsenkungen stattfinden, wie wir sie für die Steinkohlenzeit aus vielen Gründen annehmen müssen.

Da nun solche Landsenkung im Memeldelta nicht merklich stattfindet, so erhebt sich durch die Bildung des Torfs die erlenbestandene Vegetationsdecke immer mehr über den höchsten Wasserstand des Haffs. Zunächst können daher die echten Sumpfpflanzen, die doch sehr viel Wasser nötig haben, nicht fortbestehen, und deshalb siedelt sich eine Unterflora an, in der die Brennessel (Urtica dioeca) und der Hopfen (Humulus lupulus) eine besonders große Rolle spielen (Fig. 4). Wandern wir nun immer weiter durch das Moorgelände, indem wir uns beständig vom Haff entfernen, so ändern sich fortwährend die Vegetationen in der reizvollsten Weise; einzig aus dem Grunde der ständigen Anhöhung des

Digitized by Google

Torfs. Moorbirken beginnen die Erlen mehr und mehr zu verdrängen, bis sie endlich ganz überhandnehmen. Dann tauchen bald einige Nadelhölzer auf, wir erblicken Kiefern und Fichten, und nicht lange währt es, da befinden wir uns mitten in einer Nadelwaldzone, die wir fast trockenen Fußes durchschreiten. Immer fesselnder wird es hier für den Botaniker, die immer mannigfaltiger werdende Flora an sich vorüberziehen zu lassen. Orchideen treten auf, namentlich sind es große Bestände der schönen Orchis helodes, deren Blumen uns mit ihrer rötlichen Farbe erfreuen. Heidekräuter geben dann dem Bild eine neue Abwechslung. Wir bewegen uns mit Mühe durch dichte Gebüsche von Sumpfporst (Ledum palustre), dessen schöne weiße Blütenstände oft unsere Brust berühren und dessen angenehm aromatischer Blätterduft uns umweht. Und jetzt bemerken wir eine andere Tatsache. Wir sehen, daß die Bäume des Zwischenmoores immer kleiner geworden sind. Ein deutliches

Fig. 4. Erlenstandmoor mit Hopfen (daher auch Hopfenbruch) und Holunder (rechts). Im Vordergrunde die große Donnersnessel.

Digitized by Google

Zeichen für den ständig zunehmenden Nahrungsmangel. Das nahrhafte Grundwasser dringt eben nicht mehr hinauf in den Torf, in dem die Bäume wurzeln, nur gehaltloses Regenwasser und Tau bedingen jetzt noch die Feuchtigkeit. Wirklich ausnutzbare Nahrung für die kleineren, kurzwurzeligen Gewächse vermag in dieses Zwischenmoor wohl nur als Staub zu gelangen, und dieser Staub mag vielleicht von fernher zugeführt werden; ist doch unter anderem einmal beobachtet worden, daß große Mengen von Staub aus der Wüste von Tunis zur Ostsee gelangten. Die Nahrungsarmut macht sich aber mit der weiteren Anhöhung des Torfs allzusehr geltend, und bald können nur noch ganz bedürfnislose Pflanzen fortbestehen. Eine dieser Pflanzen, die fast mit nichts auszukommen vermag, wird nun zu einem Faktor, der den Gang der kommenden Entwicklung beherrscht. Gäbe es kein Torfmoos (Fig. 5), so würde wahrscheinlich die Zukunft eines Zwischenmoores eine ganz andere sein. Das Zwischenmoor würde sich vielleicht noch ein wenig anhöhen, immer trockener werden und schließlich einer öden Heide Platz machen, wie wir sie auf den toten, künstlich entwässerten Hochmooren erblicken. Oder aber es würde ähnlich gehen wie mit gewissen Mooren der Tropen (vergl. S. 148). Das Torfmoos aber hat die Fähigkeit, in seinem Innern schwammartig eine so große Fülle Wassers aufzuspeichern wie kaum eine andere Pflanze. Dies rührt daher, daß der Leib der Sphagnen oder Torfmoose meist überwiegend aus elastischen luftgefüllten Zellen besteht. Aus diesem Grunde sind die Torfmoose in der Regel nicht freudig-grün, sondern sie sehen mehr graugrün bis

Digitized by Google

weißlich aus, abgesehen von anderen, z. B. rötlichen Farbstoffen, die uns hier nicht interessieren. Da nun meist die Luftzellen durchlöchert sind (vergl. Fig. 5, l), so sind sie befähigt, Wasser aufzunehmen und abzugeben. Ihre Elastizität rührt von Spiralfasern (s) her, die ihren Wänden eingelagert sind. Fig. 5 zeigt die grünen Zellen von Blattgrünkörnern erfüllt. Daß die grünen Zellen nur den kleinsten Teil des Gewebes ausmachen, wird besonders bei Betrachtung von Blattquerschnitten klar (Fig. 5, links). Es sei nebenbei auf die verschiedene Lage der grünen Zellen aufmerksam gemacht, die als gutes Bestimmungsmerkmal gilt. Bald sind sie von außen, bald von innen zwischen die Luftzellen eingekeilt, bald wieder finden sie sich ziemlich genau in der Mitte.

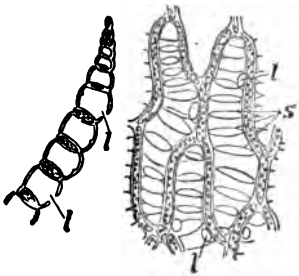


Fig. 5. Mikroskopische Bilder einiger Zellen von Torfmoosblättern; links Querschnitt durch das Blatt von Sphagnum fimbriatum, rechts einige Zellen aus der Flächenansicht des Blattes von S. cymbifolium. l Löcher, die die Wasserzellen mit der Außenwelt verbinden, s Spiralfasern zur Verstrebung der Wasserzellen.

Durch die geschilderte Bauart der Sphagnen beginnt sich der schon fast trocken gewordene Boden des Moors, auf dem die Torfmoose zunächst in einzelnen Polstern auftreten, von neuem zu vernässen. Dichter und dichter überzieht sich weiter landeinwärts der Untergrund mit Torfmoosen, und bald waten wir durch ein

Digitized by Google

völlig nasses Gelände, denn bei jedem Schritt pressen wir aus dem Moos das in ihm enthaltene Wasser, und wenn wir die tiefe Spur betrachten, die unser Fuß hinterläßt, dann sehen wir sie von einer braunen, teefarbenen Flüssigkeit erfüllt. Schon in den nächsten Minuten aber hat sich diese Spur wieder zugezogen, die Pflanzen haben das Wasser wieder aufgenommen.

Da der Torf, der sich aus dem Sphagnum bildet, uhrglasförmig auf dem Flachmoortorf liegt, nennt man

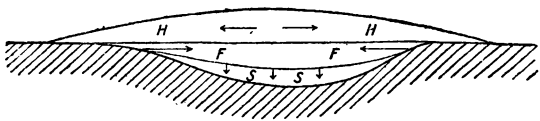


Fig. 6. Schematische Darstellung der Verlandung und Torfbildung. S Faulschlammgestein, F Flachmoortorf, H Hochmoortorf.

den Moortypus, in dem wir uns jetzt befinden, ein Hochmoor.

Die schematische Darstellung (Fig. 6) wird das bisher Gesagte verdeutlichen. In einem Gewässer hat sich ein Faulschlammgestein, ein Sapropelit, abgesetzt (S). Wie die Pfeile in F andeuten, ist dann auf diesem Sapropelit von den Ufern des Gewässers aus Flachmoortorf entstanden, der den Sapropelit durch sein Gewicht zusammengepreßt hat. Durch die Wirkung des Torfmooses endlich hat sich über dem Flachmoortorf „weißer" Hochmoortorf (H) gebildet, der sich in der Richtung der dort eingetragenen Pfeile ausbreitete und nun alles uhrglasförmig überdeckt. So ist denn in diesem Idealfall nichts mehr zu sehen als Hochmoor.

Digitized by Google

Kehren wir nun zu unserem Hochmoor in Ostpreußen zurück.

Schlecht ernährte kleine Kiefern, die dem Wanderer manchmal nur bis zur Brust ragen und die wegen des sie umbultenden Torfmooses mühsam um ihr Leben kämpfen, sind fast die einzigen Bäume, denen wir jetzt noch auf der weiten, kahlen Hochmoorfläche begegnen. (Fig. 7).

Fig. 7. Krüppelkiefer eines Hochmoors, von Torfmoos umbultet.

Insektenfressende Pflanzen, wie hier der Sonnentau, sind in allen Hochmooren zu Hause; der Boden und der Staub vermögen die nötigste Nahrung kaum noch zu geben, und so scheint gerade in den Hochmooren jene interessante Fähigkeit gewisser Pflanzenblätter, tierische Nahrung aufzunehmen, entstanden zu sein. Bei dem Sonnentau, der überall aus dem Torfmoos hervorkommt, sehen wir auf den kleinen, runden oder länglichen Blättern zarte haarähnliche Gebilde, die, jedes an seinem Ende, ein winziges Flüssigkeitströpfchen tragen. Die Flüssigkeit ist ähnlich zusammengesetzt wie die Verdauungssäfte unseres Magens. Wird nun ein kleines

Digitized by Google

Insekt durch diesen „falschen Tau" angelockt, so bleibt es durch dessen klebrige Beschaffenheit an den Härchen haften, diese biegen sich langsam von allen Seiten über dem Insekt zusammen und in dem Verdauungssaft lösen sich die nahrhaften Bestandteile des Tierchens auf.

Sehr auffällig und sehr verbreitet auf Hochmoorgeländen der gemäßigten Zone des östlichen Nordamerika ist die Kannenpflanze (Sarracenia purpurea), mit krugförmigen Blättern, die in ihrer Höhlung eine sehr schwach saure Flüssigkeit enthalten, in jedem Krug etwa soviel wie in einem kleinen Weinglase. In dieser Flüssigkeit findet man oft zahlreiche Insekten ertrunken, denn die Krüge sind treffliche Fallen. Abgesehen von der Fähigkeit, die gelösten Weichteile der Tiere durch die Wände der Kannen aufnehmen zu können, muß unzweifelhaft für die Pflanzen auch darin ein gewisser Vorteil gefunden werden, daß sie durch den Zerfall der alten Krüge, in welchen sich die Insektenreste befinden, vermöge der Wurzeln die von den Tierresten gebotene Stickstoffnahrung zu benutzen imstande sind, wobei dann das Fangen der Tiere zur Erzeugung von Dung dient. Doch dies nebenbei.

Das Bewußtsein, auf unserem ostpreußischen Hochmoor auf einem noch unberührten Boden unserer Heimat zu stehen, steigert den Reiz und regt die Sinne des Naturforschers ganz besonders an. Wir gelangen schließlich an einige offene Wasserstellen, einsame Teiche, die manchmal von wenigen Moorbirken umstanden und mit schwimmenden Moosen erfüllt sind. Auf den zentralen Teilen von Hochmooren kann sich nämlich in regenreichen Gebieten das atmosphärische Wasser in

Digitized by Google

solchen Teichen oder Seen ansammeln, die das ähnlich dem Meer eintönige Landschaftsbild unterbrechen und wohl durch Zerklüftung des Hochmoortorfs entstehen.

Wie von einem gewaltigen Dach fließen überdies von einem großen Hochmoor die überschüssigen Regenwässer herab und vernässen seine Umgebung. Bei reichlich vorhandenem Wasser sammelt es sich in Bächen, die ständig und regelmäßig herabfließen können. Namentlich an diesen Bächen, Rüllen genannt (Fig. 8), haben die Pflanzen naturgemäß, weil das Wasser schneller wechselt, eine etwas größere Gelegenheit, Nahrung aufzunehmen; sie genügt, um einigen anspruchsvolleren Pflanzen das Leben zu gewähren, die bei einer Begehung des Hochmoors den Verlauf einer Rülle schon von weitem anzeigen. Sogar größere Bäume können die Rülle begleiten. Hierbei ist freilich auch die bessere Durchlüftung des Bodens infolge des bewegten Wassers in Betracht zu ziehen, die es z. B. sogar dem Schilfrohr (Arundo phragmites) gestattet, hier wieder aufzutreten, und Röhrichtbestände — wenn auch weniger üppig als in Flachmoorgebieten — ziehen sich daher unter Umständen die Rülle entlang bis an den Rand des Hochmoors. Wir sehen dann den Röhrichtbestand im Ein-

Fig. 8. Hochmoorbach (Rülle) des Großen Moosbruchs im Memeldelta, von Schilfrohr begleitet.

Digitized by Google

flußbereich der Rülle sich rechts und links ausbreiten. Besonders auffällig ist durch ihre Üppigkeit natürlich die Flora derjenigen Rüllen, die Quellwasser des anorganisch-mineralischen Untergrundes führen. Hier treten dann mitten im Hochmoor, auf beiden Seiten eingeschlossen von der Pflanzengemeinschaft des Hochmoors, üppige Flachmoorpflanzen auf, als besonders deutliches Beispiel dafür, welche guten Reagentien die Pflanzenarten auf die Bodenbeschaffenheit, wie feinfühlig sie für ihre Umgebungsbedingungen sind.

Bei der Abhängigkeit der Hochmoore vom atmosphärischen Wasser nimmt es kein Wunder, daß sie sich unterscheiden, je nachdem mehr oder minder davon zur Verfügung steht. Ein gewisses Maß von atmosphärischem Wasser ist für die Entstehung und Weiterentwicklung eines Hochmoors unerläßlich; aber sogar das Landklima der gemäßigten Zonen reicht aus, um eine Hochmoorbildung zu ermöglichen, wenn auch freilich ein Seeklima hierfür günstiger ist.

Das ist bei dem Vergleich der Landklima- und Seeklima-Hochmoore sofort zu sehen.

Ein Blick auf ein lebendes Seeklima-Hochmoor zeigt uns einen Moosteppich von Sphagnum mehr oder minder dicht mit dem Gehälm von Zyperazeen und zerstreut mit Bäumen, besonders Krüppelkiefern, bestanden.

Bei einem typischen Landklima-Hochmoor hingegen tritt der Sphagnumteppich für das Auge wesentlich zurück; er befindet sich im Schutze von Sträuchern, die die Oberfläche oft dicht bekleiden, und zwar nehmen hier Sträucher aus der Familie der Erikazeen, der

Digitized by Google

Heidepflanzen, einen hervorragenden Platz ein, sowie Arten, die diesen Pflanzen in ihrer Tracht ähnlich sehen.

Neben Sphagnum spielt hier noch ein anderes Moos eine zuweilen selbst herrschende Rolle: das Widertonmoos (Polytrichum). Der Baumbestand ist meist dichter, wenngleich auch hier die Bäume nicht ihre volle Größe erreichen und unter ihnen wie im Seeklima-Hochmoor verkrüppelte Exemplare häufig sind.

Wenn wir die schöne Hellmannsche Regenkarte von Deutschland betrachten, so fällt die Verbreitung der Seeklima-Hochmoore etwa mit den Gebieten zusammen, für welche 60 und mehr Zentimeter mittlere jährliche Niederschlagshöhe angegeben wird, das sind auf der Karte blau angelegte Gebiete, während die Landklima-Hochmoorgebiete nur 40—60 cm Niederschlagshöhe aufweisen, auf der genannten Karte braun angelegt.

Im südlichen Kanada von Ost nach West, von dem einen zum anderen Ozean, habe ich fast nur Landklima-Hochmoore gesehen. Der „Große Moosbruch", unser Hochmoor östlich von Nemonien, das wir näher kennenlernten, ist ein Seeklima-Hochmoor.

Dieses wundervolle Naturdenkmal im Memeldelta wird bei der schnell fortschreitenden Kultur des Hochmoores in wenigen Jahren als zusammenhängendes Ganzes vernichtet sein.

Es ist eine für den Naturforscher bange Frage: muß und soll denn alles verschwinden, was an die Urnatur erinnert? Gewiß: der Kulturfortschritt gehört zur Menschennatur, er ist eine naturgemäße Bewegung, die nichts aufzuhalten vermag, ebensowenig wie das Niederfallen eines nicht unterstützten Steines. Aber

Digitized by Google

das Merkmal einer hohen Kultur ist nicht durch die einseitige Pflege des materiellen Wohles allein gegeben, sondern erst dort, wo sie den Bedürfnissen des Menschen in ihrer ganzen Ausdehnung gerecht wird: wo auch Kunst und Wissenschaft weiten Einfluß üben. So kann es denn kommen, daß sich — je nach dem Standpunkt, von welchem ausgegangen wird — innerhalb des Lagers der Mitarbeiter an den Fortschritten der Kultur ein Kampf erhebt, zumal wenn auf der einen Seite der Blick für den Umfang der Kulturaufgabe zu schnell eine Grenze findet. Wenn der Mensch ein Recht an der Kultur hat, hat er nicht auch ein Recht an der Natur? Gehört es nicht zum ganzen Menschen, beide Seiten in sich aufzunehmen? Versteht er die Kultur, wenn er deren Gegensatz, die Natur, aus dem Gesichtskreise verliert? Ist es wirklich weitsichtig, ist es umfassend genug, wenn alles nur gewertet und gemünzt wird im Hinblick auf nur eine Seite, wo es doch in Wahrheit zwei gibt? Welcher Gebildete macht sich von unserer Urheimat eine richtige Vorstellung? Aber wer möchte sie nicht haben? Wo ist der, dem ein Einblick in das eigentliche Wesen seiner Heimat gleichgültig ist? Die Kunst und die Wissenschaft und hier zumal die historische Erkenntnis, die wie kaum etwas anderes geeignet ist, die Zustände, unter denen wir leben, lichtvoll aufzuklären: sie haben alle Ursache, auch die dauernde Erhaltung von Mooren zu wünschen.

Großartig ist die Natur des Moores! — Ein Gedanke, der unfehlbar aufsteigt, wenn wir ein Moorgelände betrachten, ist der an das Werden des Moores, an die Zeit, die bei einem auch nur wenige Meter mäch-

Digitized by Google

tigen Torflager seit dem Beginn seiner Entstehung verflossen ist im Vergleich zu der Zeitdauer unserer menschlichen sogenannten Weltgeschichte oder gar zu der kurzen Lebensspanne, die dem einzelnen gewährt ist; und wenn wir die Millionen kleiner Pflänzchen betrachten, die den Boden bedecken und einzeln genommen ein Nichts als Beitrag vermögen, aber gemeinsam und in aufeinanderfolgenden, zahllosen Geschlechtern unaufhaltsam die Umgestaltung und Erhöhung des Geländes bewirken: dann drängt sich auch aus einer beschaulichen Betrachtung der Moore ein Gefühl der Erhabenheit auf, das auch hier überall Quellen findet, wo wir uns liebevoll in die eigenartige Natur versenken. Wenn man auf einem großen Hochmoor steht, wo der Blick gar nicht oder nur in weiter Ferne durch anderes Irdische begrenzt wird, so lenkt die Einsamkeit, die ungestörte Ruhe die Gedanken ohne weiteres in die Vergangenheit, und Naturstimmungen wirken auf uns ein, die unvergleichlichen Genuß bereiten.

Möchten unseren Nachkommen noch stille Flecke übrigbleiben, wo sie sich in die natürlichen Urzustände der Heimat versenken können, wo auch der Gelehrte noch die Möglichkeit behält, sich zu einem Verständnis unserer natürlichen Brennmaterialien durchzuringen.

Die Nahrungsarmut, vereint mit dem Überfluß an Wasser, gibt wie gesagt dem Pflanzenbestand der Hochmoore ein Gepräge, das noch einer anderen Pflanzengemeinschaft eigen ist. Auch die Pflanzen des Nordens und der Hochgebirge sind so kleine Gewächse. Auch sie haben oft reichlich Wasser zur Verfügung, ja sie wachsen sogar nicht selten auf einem nährstoffhaltigen Boden,

Digitized by Google

aber in der Kälte, die sie umgibt, vermögen sie weder von dem Wasser noch von den darin aufgelösten Salzen viel aufzunehmen und befinden sich demnach in einer ähnlichen Lage wie die Hochmoorpflanzen. Aus gefrorenem Boden können die Wurzeln überhaupt kein Wasser ziehen.

Auf den Hochmooren der mittleren und auch südlicheren gemäßigten Zone fehlt eben die Konkurrenz mit anspruchsvolleren Pflanzen, und so begegnen wir hier den bedürfnisloseren Pflanzen des hohen Nordens. Besonders die selteneren unter ihnen muten uns wohl wie Fremdlinge an, während doch gerade die Hochmoorpflanzen von den jetzt bei uns lebenden Pflanzen diejenigen sind, die am längsten in Norddeutschland wohnen; denn sie sind lebende Zeugen der längst verschwundenen Zeit, die unmittelbar auf die letzte Eisbedeckung folgte, als wir uns hier im Subglazialgebiet befanden, das mit dem Rückzuge des Eises natürlich mit nach Norden gerückt ist. So stellen denn unsere Hochmoorpflanzen gleichsam ein Stück Vorwelt dar unter den Pflanzen der Gegenwart.

Als wir nun dort im Memeldelta durch die verschiedenen Moortypen wanderten, da zogen gleichzeitig die Grundtypen aller derjenigen Vegetationen an unseren Augen vorüber, denen wir nacheinander auch begegnen würden, wenn wir von der warmen Zone unserer Erde bis an jene nördliche Grenze reisten, wo der Baumwuchs infolge der arktischen Kälte aufhört. In der Tat können wir sagen: wie uns die Hochmoore an den hohen Norden gemahnen, so erinnern uns die Flachmoore an die Tropen. Sicherlich geht man dem-

Digitized by Google

entsprechend nicht fehl, wenn man die Vermutung ausspricht, daß die typischen Flachmoore in den Tropen zu Hause sein dürften.

Bei uns haben wir z. B. eigentlich nur einen einzigen und nicht einmal voll dem Moorboden angepaßten Baum: die Schwarzerle; je weiter wir uns aber den Tropen nähern durch die Taxodium- und Nyssasumpfmoore des mittleren Nordamerika bis zu den rein tropischen Flachmoorsümpfen, z. B. am Äquator auf Sumatra, desto mehr werden aus den bloßen Andeutungen volle Anpassungen; denn die tropische Moorflora mit ihren vielen Baumarten scheint den besonderen Anforderungen, die das Leben im Moor stellt, vollkommen gerecht zu werden. Wie sich bei uns der Hopfen um die Erlen schlingt, so durchziehen Lianen das Tropenflachmoor, so haben sich einst im Tropenflachmoor der Steinkohlenzeit kletternde Farnpflanzen um die Stämme der Schuppen- und Siegelbäume (Lepidodendren und Sigillarien) gewunden.

„Versetzen wir uns im Geiste", sagt G. de Saporta, „in diese entfernte Vergangenheit (nämlich in die Steinkohlenzeit), so sehen wir von beweglichem, wasserdurchtränktem Boden gebildete Uferniederungen, die kaum erhaben genug sind, um den Meereswellen den Zugang zu den inneren Lagunen zu verwehren, über die sanfte, von dicken Nebeln häufig verschleierte Hügel hervorragen, die sich in weiter Ferne verlieren und einen ruhigen Wasserspiegel von unbestimmter Begrenzung mit einem dichten Grün umgürten. Das war die Wiege der Steinkohlen; Tausende von klaren Bächen, von unaufhörlichen Regengüssen gespeist, flossen von

Digitized by Google

allen benachbarten Gehängen und Tälern diesen Becken zu. Die Vegetation hatte damals in weitem Umkreise alles bedeckt; wie ein undurchdringlicher Vorhang drang sie weit in das Innere des Landes vor und behauptete auch den überschwemmten Boden in der Nähe der Lagunen." Dieser Rückblick Saportas in die Vergangenheit erinnert uns an vieles, was in den vorangehenden Zeilen geschildert worden ist. Von der Gewaltigkeit der damals häufigen wässerigen Niederschläge können wir uns wohl kaum noch eine Vorstellung machen: die stärksten Wolkenbrüche in den Tropen erreichen sie vielleicht nicht im entferntesten.

Die allgemeine Ansicht, daß in erster Linie als Vorbedingung der Moorbildung eine wasserundurchlässige Schicht nötig sei und die Moorbildung am besten in Mulden vor sich gehe (lokale Moorbildung), ist nach alledem dahin zu berichtigen, daß die Hauptmoorbildungen, wie sie sich über ganze Regionen erstrecken, in erster Linie von dem ständigen Vorhandensein genügender Luftfeuchtigkeit abhängig sind (regionale Moorbildung), so daß sich Moore besonders oft gerade auf den feuchten Höhen der Gebirge finden, wie auf der ganz vermoorten Höhe des Bruchberges und des Brockens im Harz, und hier wie in der Ebene sind es Wälder gewesen, die oft die verlangte Feuchtigkeit geschaffen, die Veranlassung zu ausgebreiteten Moorbildungen geboten haben; viele große Moore, die heute keine Waldmoore sind, gingen, wie die Untersuchung ihres Liegenden ergab, aus Wäldern hervor. Das Moor frißt gewissermaßen das ursprünglich bloße Land allmählich auf und greift immer weiter um sich.

Digitized by Google

Außer den beiden Hauptgruppen brennbarer, von Lebewesen herrührender Gesteine, den Faulschlamm- und den Humusgesteinen, ist noch eine weitere Gruppe zu erwähnen, die den wissenschaftlichen Namen Liptobiolithe trägt. Dieses Wort ist gebildet aus dem Griech. leiptos = zurückgelassen, bios = leben und lithos = Stein. Es handelt sich also dem Namen nach bei den Liptobiolithen um „zurückgelassene, von Lebewesen herstammende Gesteine". Der Sinn dieser Bezeichnung wird uns bald klar werden.

Wo Landpflanzenreste den Atmosphärilien ausgesetzt sind, da pflegen sie, wie wir wissen, sozusagen restlos zu verschwinden, „flammenlos" zu verbrennen. Dies ist jedoch nicht immer der Fall. Nicht selten enthalten die Pflanzen Stoffe, die sich außerordentlich schwer zersetzen, und deshalb bleiben diese, während sich alles andere zersetzt, fast allein zurück. Solche Stoffe sind vor allem die Harze, Wachsharze und Wachse.

Es gibt z. B. in Südafrika eine Pflanzengattung namens Sarcocaulon. Diese Gattung lebt in außerordentlich trockenen Gebieten und besitzt wie viele Bewohner trockener Klimate einen starken Wachsharzpanzer. Der Panzer bedingt, daß sich die Pflanzen leicht entzünden lassen und dann wie Pech weiterbrennen. Unter anderem nennt man sie daher auch Buschmannskerzen. Für uns ist nun von Wichtigkeit, daß man diese Panzer in der Heimat von Sarcocaulon oft herumliegen sieht. Die übrigen Teile der Pflanze aber sind vollständig verwest. Wo also Wind oder Wasser solche Panzer anhäufen, da würden wir ein Liptobiolithlager entstehen sehen. Solche Lager sind tatsächlich bekannt,

Digitized by Google

wie z. B. das am Tanafluß in Britisch-Ostafrika befindliche Denhardtitlager. Von diesem weiß man allerdings nicht, welche Pflanze das Material geliefert hat.

Da der Kopal allgemein bekannt ist, muß er an dieser Stelle genannt werden. Die Kopale sind subfossile, also halbfossile Harze tropischer Bäume. In den lockeren Boden, in dem man sie auffindet, sind sie durch den Wind oder durch grabende Tiere geraten. Sie können auch von Humus überwachsen und so eingebettet worden sein. Von den Pflanzen, denen die Kopale entstammen, ist meist nichts mehr zu finden.

Es gibt noch viele andere zum Teil sehr merkwürdige Liptobiolithe, die z. B. aus nichts anderem bestehen als aus unzähligen Mengen von Sporen- und Blütenstaubkörnchen. Solche Ansammlungen gehören deshalb zu den Liptobiolithen, weil die Sporen und Pollen ganz besonders viel Wachs enthalten, aber auch weil ihre Häute aus dem korkartigen Kutin, einem Gemisch von Fettsäuren, bestehen, das sich besonders schwer zersetzt. Man wird zunächst kaum glauben wollen, daß sich genügend viel Sporen und Pollen anzusammeln vermögen, um schließlich ganze Ablagerungen zu bilden. Wir gewinnen jedoch hiervon eine Vorstellung, wenn wir uns jene Erscheinung vergegenwärtigen, die der Volksmund als Schwefelregen bezeichnet. Tatsächlich ist bei uns im Mai die Luft zur Blütezeit der Koniferen und Birken oft so dicht von gelbem Blütenstaub erfüllt, daß man von einem Regen sprechen kann.

Die Pollen der Kiefer (Pinus silvestris) sind z. B. mit zwei Luftsäcken versehen (Fig. 2) und dadurch ein Spiel

Digitized by Google

jeder Luftbewegung; so ist die bei den Windblütlern durch Vermittlung des Windes vor sich gehende Befruchtung eine mehr oder weniger zufällige. Vermögen sich nämlich die Pollen möglichst lange in der Luft zu halten, dann ist die Wahrscheinlichkeit so groß wie nur möglich, daß einige von ihnen auf die weiblichen Narben treffen dürften. Jedenfalls erkennt man, daß eine Überproduktion von Pollen für die Windblütler geradezu Bedingung ist. Sie gelangen demzufolge überall hin, und fast stets finden sich daher auch in dem Faulschlamm Pollenkörner. Manchmal sieht man die Oberfläche eines Gewässers dicht mit Blütenstaub bedeckt. Solche Pollenwasserblüte darf dann nicht mit der Algenwasserblüte verwechselt werden (S. 26). Green hat von einem im Jahre 1858 in Schottland stattgehabten Schwefelregen berichtet, bei dem der Boden an manchen Stellen einen halben Zoll hoch mit Kiefernpollen bedeckt war, und zwar beobachtete man dies an Örtlichkeiten, die 33 englische Meilen voneinander entfernt lagen.

Bei einer derartigen Riesenproduktion ist es wohl begreiflich, wenn sich in der Erdrinde gelegentlich Pollenablagerungen finden; zumal wird man dies dann verstehen, wenn man sich erinnert, wie schwer sich Wachs und Kutin zu zersetzen vermögen, so daß also die Pollenkörner außerordentlich lange intakt erhalten bleiben. Vom Kutin ist sogar zu sagen, daß es R. Potonié gelungen ist, es selbst noch in Pflanzenresten aus dem Kulm als völlig unzersetzt nachzuweisen.

Früh hat einem wohl hauptsächlich aus Erlenpollen bestehenden Gestein zu Ehren von Fimmen den Namen

Digitized by Google

Fimmenit gegeben. Ein Rinnsal, das ein Erlenmoor durchfloß, wird zur Blütezeit der Erlen dicht mit Pollen bedeckt worden sein. Mündete nun dieser Wasserlauf an einer ruhigen Stelle oder besaß er vielleicht unterwegs ruhige Buchten, so werden sich hier die Pollen abgesetzt haben, und zwar alle etwa an der gleichen Stelle, denn ein fließendes Gewässer trennt ja die Teilchen nach ihrer Schwere. Es sei daran erinnert, daß die Erlenpollen keine Luftsäcke besitzen und deshalb im ruhigen Wasser sofort untersinken.

Was wird aus dem Faulschlamm?

Wenn größere Torfschichten auf dem Faulschlamm lasten, so erhält er bald eine festere Struktur, weshalb man ihn dann Saprokoll (von sapros = faul und dem Griech. kolla, der Leim), zu deutsch Faulgallerte nennt.[1] Sehr lange bleibt er nun in diesem Zustand. Manchmal findet man ihn in dieser Form noch in denjenigen Schichten unserer Erde, die sich während der Hauptbildungszeit unserer Braunkohlen, des Tertiär, abgesetzt haben. Wenn der Faulschlamm aber noch älter ist, dann ist er ebenso steinhart, wie er auch wird, wenn man ihn an der Luft trocknet.

Es ist selbstverständlich, daß der Aschengehalt eines von der Zeit in Kohle verwandelten Faulschlamms (denn auch der Faulschlamm wird zu Kohle) um so größer ist,

1 Im übrigen wird durch die Zeit jeder Faulschlamm zunächst zu Saprokoll (Lebertorf). Er kann aber unter Umständen auch bei geringerer Torfbedeckung schneller dazu werden, wenn die Gelegenheit zur Entwässerung oder Austrocknung des Faulschlamms geboten wird. R. P.

Digitized by Google

je mehr Sedimente sich gleichzeitig mit ihm aus dem Wasser abgesetzt haben.

Ein Faulschlamm, der ebensolange in der Erdrinde gelagert hat wie der Torf, den wir heute als Steinkohle ans Tageslicht befördern, tritt uns als eine matte, fast so leicht wie ein Talglicht brennende Kohle entgegen, die den Namen Kännelkohle erhalten hat. Die Engländer nennen sie Cannel-Coal. The candle, womit das Wort Cannel zusammenhängt, heißt bekanntlich auf deutsch die Kerze.

So haben wir denn die beiden wichtigsten Gruppen brennbarer fester Gesteine, die ganz verschiedener Entstehung sind, kennen gelernt, nämlich die aus Torfen hervorgegangenen glänzenden gewöhnlichen Steinkohlen und die aus Faulschlamm entstandenen matten Cannelkohlen, die bei ihrem hohen Gasgehalt in der Gasfabrikation eine besondere Rolle spielen.

Ein wesentlicher chemischer Unterschied zwischen den Lebewesen, die den Torf bilden, und denen, die die Entstehung des Faulschlamms bedingen, ist der, daß die zuletzt genannten Fette und Öle enthalten. Diese bedingen den Gasreichtum, und aus ihnen entsteht auch das Petroleum. In einem späteren Abschnitt soll hierüber Eingehenderes mitgeteilt werden.

Vorläufig sei noch erwähnt, daß bei all den echten Wasserorganismen — Tieren und Pflanzen — durch die Fäulnis kein ausgesprochener Inkohlungsvorgang eingeleitet wird, sondern es findet eine Bituminierung statt, wie ich im Gegensatz zur Inkohlung die Erreichung von Produkten (Bitumina) nenne, die wasserstoffreicher sind als die echten Humusgesteine, wie

Digitized by Google

die echten Kohlen usw. und unter anderem den Gasreichtum bedingen.

Im Gegensatz zu den aus Landpflanzen entstandenen Steinkohlen, den Glanzkohlen, gehören die aus Faulschlamm entstandenen Kohlen der Steinkohlenformation zu den Mattkohlen.

Der jüngere — ganz wie die Cannelkohle mit Sedimenten versetzte — Faulschlamm der Braunkohlenzeit heißt Dysodil.

Das Wort Dysodil kommt vom Griech. dys = übel und dem Wortstamm od = duftend. Die Kohle trägt diesen Namen wegen des Geruchs, der beim Verbrennen entsteht. Daher auch die Bezeichnung Stinkkohle.

Das Dysodil ist auch gelegentlich als Chlorophyllkohle bezeichnet worden, weil man in ihm noch unzersetzt den grünen Farbstoff der Blätter nachweisen konnte. Dies zeigt uns nicht nur, wie schwer sich das Chlorophyll bei Lichtabschluß zu zersetzen vermag, weshalb es unberechenbar lange Zeiten in der Erdkruste lagern kann, wir ersehen auch aus dieser Tatsache von neuem, daß die Kohlen gewissermaßen in natürlichen Konservenbüchsen entstehen. In frischem Faulschlamm kann man die grünen Farbkörper oft noch in vollkommen intakter Form vorfinden, und doch ist Chlorophyll unter dem Einfluß von Licht eine sehr leicht zersetzliche Verbindung.

Da das Dysodil sehr blättrig ist, nennt man es auch Papierkohle. Es werden aus dem Dysodil Öle hergestellt, die stark an Petrolea erinnern.

Daß der Faulschlamm ein Bestandteil einer großen

Digitized by Google

Anzahl von Gesteinen sein muß, die sich aus dem Wasser abgesetzt haben, ist ohne weiteres einleuchtend. Es würde hier zu weit von unserem eigentlichen Thema abführen, auf alle diese Dinge näher einzugehen. Da jedoch der Gagat, jenes schöne schwarze Material, das zur Herstellung von Schmuckstücken Verwendung findet, aus einem faulschlammhaltigen Mergelschiefer stammt, seien, soweit dies für die Kenntnis des Gagats von Interesse ist, noch einige Worte hinzugefügt. Der Gagat oder Jet wurde im Altertum zuerst am Flusse Gagas in Lykien gefunden, und zwar als Geschiebe. Außerdem findet sich der Gagat gelegentlich an seinem Ursprungsorte, nämlich in tonreichen, kalkhaltigen schwarzblauen Faulschlammgesteinen, die sich einst im Meere abgesetzt haben. Diese sind trotz allem oft so faulschlammhaltig, daß sie als Brennmaterial benutzt werden können. In solche Faulschlammtonschiefer sind bei ihrer Entstehung „Floßhölzer" eingeschwemmt worden, und diese sind es, die sich in den Gagat umgewandelt haben. Gerät nämlich Holz in einen Faulschlamm, so wird es mit petroleumähnlichen Zersetzungsprodukten des Schlamms imprägniert.

Der Gagat ist sehr hart, schön schwarz und vorzüglich politurfähig. Eine berühmte Fundstelle von Gagat war Whitby in England.

Wenn wir nach fossilen Gesteinen suchen, die den kalkigen Sapropelen entsprechen, so liegt es nahe, die bituminösen Kalke heranzuziehen, die zahlreich in allen geologischen Formationen verbreitet sind. Schlägt man einen solchen Kalk an, so bemerkt man oft den bituminösen Geruch (Stinkkalk); das Bitumen ist aller-

Digitized by Google

meist durch den Faulschlamm von Anbeginn darin, nicht nachträglich hineingeraten, ebensowenig wie das Sapropel in die rezenten Sapropelkalke. Es wird dies hier besonders hervorgehoben, weil das in später anzudeutender Weise entstehende Petroleum naturgemäß als ein Destillationsprodukt in lockere Gesteine hineingedrängt bzw. hineindiffundiert wird und sie tränkt. Man darf solche „bituminösen" Gesteine natürlich nicht mit den echten, ursprünglichen Sapropeliten verwechseln.

Die Tatsache, daß der Faulschlamm aus mikroskopischen Lebewesen entstanden ist, die in ihrer chemischen Zusammensetzung den Tieren sehr nahe stehen, macht sich also auch noch bei dem zu Kohle gewordenen Faulschlamm sofort bemerkbar. Solche Kohlensorten sind vor allem gasreicher als alle anderen.

In vielen mächtigen Lagern kommen sie in denselben Erdschichten vor, in denen sich auch die Torfkohlen finden.

Vieles, was wir an dem Sapropelit am Ufer des Kurischen Haffs beobachten können, das finden wir nun auch in den Faulschlammgesteinen der Steinkohlenlager. Am Kurischen Haff benutzen die Landpflanzen, wie z. B. das Schilfrohr, den Faulschlamm als Untergrund und durchweben ihn mit ihren unterirdischen Organen. Ganz ebenso ist es auch in der Steinkohlenzeit gewesen. Betrachten wir ein Stück fossilen Faulschlamms aus jener Zone, in der die Landpflanzen gewurzelt haben, dann sehen wir, wie das matte Gestein von glänzenden Streifen durchzogen ist. Dies sind die verkohlten unterirdischen Organe der vorweltlichen Sumpfpflanzen, aus

Digitized by Google

denen also unter allen Umständen etwas anderes entsteht als aus dem Faulschlamm.

Hier seien einige Worte über den Glanz der Kohlen eingeflochten. Faulschlamm jeglichen Alters ist, soweit bekannt, matt. Nur der Torf, die Reste von Landpflanzen, werden — wie es scheint — mit der Zeit glänzend. Die Kohlen der Tertiärzeit sind meist noch nicht glänzend. Da es aber auch schon aus der Braunkohlenzeit glänzende Kohlen, die „tertiären Steinkohlen", gibt, so darf man vermuten, daß der Glanz noch eine andere Ursache hat. Vielleicht tragen Druck und Hitze dazu bei, so daß diejenigen Braunkohlen, die dem mehr ausgesetzt waren, den Glanz schneller erhalten haben. In der Tat hat Bergius[1], dem es kürzlich gelungen ist, eine künstliche Steinkohle herzustellen, den Glanz erst durch Druck erzeugen können. R. Potonié hat dann später durch weitere Druckexperimente nachzuweisen vermocht, daß Glanzkohlen nur aus einem Ausgangsmaterial entstehen können, das wie der Torf eine Anhäufung von größeren Individuen oder von deren Teilen ist. Nur in diesem Fall können sich größere Reibflächen bilden, und zwar dadurch, daß sich durch Gebirgsdruck die Lücken, die ohne Gebirgsdruck durch den Selbstzersetzungsprozeß der sich reduzierenden Pflanzenteile entstehen würden, wieder schließen. Gebirgsdruck wirkt nun aber bei jeder Kohlenbildung mit. Es ist ein stets vorhandener Faktor. Je älter eine Kohle wird, desto mehr werden sich aber ihre Teile reduzieren und desto glänzender dürfte sie daher im allgemeinen wer-

1 Bergius, Die Anwendung hoher Drucke usw. 1913, vergl. auch S. 82 u. 98.

Digitized by Google

den. Besteht jedoch das Ausgangsmaterial einer Kohle aus mikroskopisch kleinen Individuen, so werden bei deren Reduktion kaum Gleitflächen entstehen können. Wir erhalten Mattkohlen (Sapropelkohlen, siehe S. 68). Erst wenn solche Sapropelkohlen sehr alt geworden, also auch sehr stark reduziert worden sind, scheinen auch sie einen Glanz anzunehmen, denn aus den ältesten Formationen kennen wir nur Glanzkohlen.

Es ist nicht unmöglich, daß der Harzgehalt, der die Braunkohlen von den Steinkohlen unterscheidet, das Glänzendwerden des Materials hinausschiebt.

Die Faulschlammgesteine oder Faulkohlen bleiben also stets matt und sich so stets ähnlich. Sie sind nicht so häufig wie die Humuskohlen. Ihre Entstehung ist ja aber auch ausschließlich an das Vorhandensein stiller Gewässer gebunden.

Wo sich Sapropelite finden, da hat das Lager im Profil oft eine Linsenform, die dem ehemaligen Wasserbecken entspricht, in dem der Schlamm entstand.

Auch heute noch ist der Torf häufiger als der Faulschlamm. Meist befinden sich die Faulschlammlager der Steinkohlenzeit, ganz wie das den heutigen Verhältnissen entspricht, unter den Glanzkohlen. Der Bergmann sagt, sie nehmen das Liegende ein. Wie heute noch, so ist es aber auch damals vorgekommen, daß sich bei einer Überschwemmung von längerer Dauer über dem Torf wieder beträchtliche Mengen von Faulschlamm abgelagert haben.

Wenn man altes Sapropel unter dem Mikroskop betrachtet, so kann man unter den noch geformt erhaltenen Bestandteilen solche finden, die man für lebend

Digitized by Google

halten möchte, auch wenn viele Jahrtausende seit der Entstehung eines solchen Sapropels verstrichen sein mögen. Diese Eigentümlichkeit hat seinerzeit den bekannten Berliner Biontologen Christian Gottfried Ehrenberg zu der Annahme verführt, daß die zum Teil noch „grünen" Kieselalgen (Diatomeen, von denen wir schon vorn gesprochen haben), die er in einem Sapropelgesteine (in Sapropelkalk) im Untergrund Berlins fand, noch lebten; er sagt: es sei zwar fernliegend anzunehmen, daß Berlin zum Teil auf ehemals lebenden Wesen aufgebaut sei, aber jeder Erforscher der Lebewesen werde zugeben, daß kein anderer Schluß übrigbleibe.

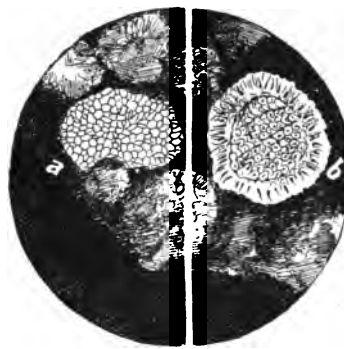


Fig. 9. Schliffe in Richtung der Schichtungsfläche durch alte Faulschlammkohlen (Boghead). a aus dem Perm von Autun mit Algen von deutlicher Zellstruktur, die „Pila dibractensis" genannt wurden; b mit der Alge „Reinschia" aus dem australischen Perm. Vergl. diese Figur mit Fig. 2.

Auch eine mikroskopische Untersuchung der Faulkohlen zeigt oft noch, daß sie ganz wie der Faulschlamm aus den Leichen von Schwebeorganismen entstanden sind. Manchmal ist allerdings eine Struktur nicht mehr erkennbar. Im Prinzip finden sich jedoch in allen Faulschlammgesteinen immer wieder die Reste kleiner

Digitized by Google

Algen, sogar in der Cannelkohle kann man solche nachweisen. So finden sich in ganz alten Faulschlammgesteinen Formen, die an lebende kleine Algenkolonien von Pediastrumgestalt erinnern (Fig. 9). Man sollte kaum glauben, daß sich in einem Schliff solcher Kohle, wenn auch nur ganz verschwommen, doch noch derartige Gebilde erkennen lassen. In allen Faulschlammgesteinen kann man auch viele Pollen und Sporen von Landpflanzen finden, wie sie ja leicht in das Wasser jedes Sees hineinfallen. Auch finden sich überall die Reste von Fischen, von Mollusken der Meeres- oder Brackwasserfauna und Exkremente von Fischen und Reptilien, die man fossil Koprolithen nennt. In selteneren Fällen werden auch Knochen gefunden. Die überwiegende Masse ist aber pflanzlicher Herkunft.

Durch die gewissenhaften Untersuchungen C. Eg. Bertrands sind wir vortrefflich über die mikroskopische Beschaffenheit von Sapanthrakongesteinen[1] (von sapros und dem Griech. anthrax, die Kohle) unterrichtet, obgleich Bertrand die Faulkohlen nicht als fossiles Sapropel erkannt hat.

Daß von einem Faulschlamm im Fall des Überwiegens gut erhaltener tierischer Reste dennoch meist angenommen werden muß, seine einheitliche formlose Grundsubstanz bestehe im wesentlichen aus pflanzlichen Resten, erscheint schon deshalb einleuchtend, weil doch ohne das ursprüngliche Vorhandensein pflanzlicher Nahrung nirgends ein tierisches Leben möglich ist. Zeigt also bei der mikroskopischen Untersuchung ein Faul-

1 Als Sapanthrakongesteine seien die älteren Mattkohlen bezeichnet.

Digitized by Google

schlammgestein mehr pflanzliche oder mehr tierische Struktur, so kann man hierüber nur sagen, die Reste dieser oder jener Art haben sich besser erhalten. Ob von vornherein mehr Tiere oder mehr Pflanzen zur Entstehung des Gesteins beigetragen haben, läßt sich so auf keinen Fall feststellen. Je weniger fremde Beimischungen in einem Faulschlamm vorhanden sind, desto besser haben sich die Strukturen der ihn zusammensetzenden Organismen erhalten.

In feuchtem Zustande sehen die Faulschlammgesteine oft schwarz aus; dies rührt dann wohl meist von kleinen Humusbeimengungen oder von Schwefelverbindungen her. Beim Trocknen werden sie grau bis hellgrau. In anderen Fällen sind sie zunächst hell und nehmen durch Oxydationsvorgänge dunklere Tönung an. Die Farbe unreinen Faulschlamms richtet sich wesentlich nach dem Material, mit dem er versetzt ist.

In den Gasanstalten werden die Kohlen der Destillation unterworfen. Hier ergeben sich zwischen den Faulschlammgesteinen und den Humusgesteinen diejenigen Unterschiede, die für die Praxis und somit für die weitesten Kreise von dem größten Interesse sind. Wie alle Humusgesteine ergeben die glänzenden Steinkohlen bei der Destillation Gase, die nach einer Reinigung als Leuchtgas Verwendung finden; außerdem erhält man dicken Teer, der für die Technik von größtem Nutzen ist, da er tausend Industriezweige nährt. Es sei hier nur an die moderne Farbindustrie erinnert. Endlich erhält man reinen Kohlenstoff, den wir als Koks bezeichnen.

Destilliert man nun ein Faulschlammgestein irgend-

Digitized by Google

eines Alters, so erhält man bedeutend größere Mengen brennbarer Gase als bei der Destillation von Humuskohlen. Deshalb werden die Faulkohlen auch wohl geradezu Gaskohlen genannt. Der resultierende Teer aber ist ein mehr dünnflüssiger Ölteer, der wiederum daran erinnert, daß die Faulschlammgesteine aus Lebewesen hervorgegangen sind, deren chemische Zusammensetzung mehr derjenigen der Tiere entspricht. Der Koks aber, der in der mit Faulkohle gefüllt gewesenen Retorte zurückbleibt, stellt dem größeren Gasgehalt gegenüber natürlich eine kleinere Menge dar als bei der Humuskohle.

Wie schon erwähnt wurde, findet sich die Faulkohle ganz wie der Faulschlamm oft unterhalb der Humusgesteine, es kann aber auch der Fall eintreten, daß eine erneute Wasserbedeckung oberhalb des Torfs wiederum eine Faulschlammablagerung ermöglicht. Finden jedoch in einer Gegend periodische Überschwemmungen statt, wie dies z. B. in dem S. 41 eingehender beschriebenen Erlensumpfmoor der Fall ist, so wird sich jedesmal nach einer gewissen Anhöhung des Torfs eine kleine Schicht von Faulschlamm absetzen. Es kommt dann ein Gestein zustande, das aus miteinander abwechselnden Lagern von Torf und von Faulschlamm besteht. Wandert man nach einer solchen Überschwemmung durch das Flachmoor, so kann man gelegentlich den Boden mit einem durch Fadenalgen dicht versponnenen Faulschlammteppich bedeckt finden. Diesen Teppich bezeichnet das Volk als Meteorpapier. In heißen Sommertagen kann solches Meteorpapier aus einer Wasserblüte manchmal „über Nacht“ entstehen. Erinnern wir uns

Digitized by Google

nun daran, daß aus Faulschlamm nur matte Kohlen, aus Torf dagegen häufig glänzende Kohlen werden können, so ist uns die Entstehung einer bestimmten Kohlensorte, der Streifenkohle, bei der matte und glänzende Streifen miteinander abwechseln, völlig klar geworden.

Wenn wir jetzt in einem Steinkohlenbergwerk ein Flöz erblicken, das in seinem Profil zu oberst Glanzkohle zeigt, darunter Streifenkohle, unter dieser Cannelkohle und dann wieder Streifenkohle und Cannelkohle, so vermag uns dies eine lange Geschichte zu erzählen, eine Geschichte vom Kampfe zwischen Wasser und Land. Zuerst war ein Gewässer vorhanden, in dem der Faulschlamm entstand. Das Wasser schwand, und wo einst seine Oberfläche geblinkt, wucherten Sumpfpflanzen empor. Aber in regelmäßigen Zeitabständen kamen Überschwemmungen, und in dem Wasser setzte sich jedesmal Faulschlamm ab; es entstand die Streifenkohle. Aus irgendeinem Grunde trat dann späterhin wieder eine dauernde Wasserbedeckung ein, so daß sich wieder größere Mengen Faulschlamms absetzten, die wir als Cannelkohle wiedersehen. Dem folgte von neuem ein Sumpfpflanzenwachstum mit periodischen Überschwemmungen, und endlich hat sich dann die Vegetationsdecke über den höchsten Wasserstand hinausgehoben und das Resultat war eine regelmäßige Torfbildung, die das Glanzkohlenlager veranlaßt hat.

Gewisse Streifenkohlen könnten allerdings noch anderer Entstehung sein. Vielleicht handelt es sich in ihnen um einen Faulschlamm, der sich wie gewöhnlich auf dem Grunde eines Wasserbeckens abgesetzt hat. Die

Digitized by Google

glanzkohligen Streifen könnten dann auf Landpflanzenreste zurückgeführt werden, die vielleicht in regelmäßigen Zeitabständen in das Wasser hineingeraten sind. Weiter sei kurz einer in noch anderer Weise entstandenen Streifenkohle gedacht. Wir meinen jene Cannelkohle, deren glänzende Streifen den unterirdischen Organen der in dem Faulschlamm wurzelnden Sumpfpflanzen entsprechen.

Woher kommt das Petroleum?

Die Entstehung des Petroleums ist mit dem Selbstzersetzungsprozeß des Faulschlamms eng verknüpft. Dies wurde schon im vorigen Kapitel angedeutet.

Der deutsche Name Steinöl weist auf den Fundort des wertvollen Brennmaterials, ebenso der Name Bergöl. Nicht minder häufig spricht man von Naphtha. Dieses Wort kommt vom Medischen nafata, das auf deutsch herausschwitzen heißt.

Ähnlich wie über den Ursprung der Kohlen, so dachte man früher auch über die Herkunft des Petroleums. Auch das Petroleum sollte nicht aus Lebewesen entstanden sein. So war ein Forscher der Meinung, das Erdöl sei ein Produkt des Erdinnern. Ein anderer Gelehrter vervollständigte diese Ansicht und vermutete, im Erdinnern befänden sich Kohlenstoffverbindungen, und wo diese mit Wasser zusammenträfen, da entstehe das Petroleum. Es ist wieder A. v. Humboldt, der diese Idee angeregt hat. Noch niemals ist aber festgestellt worden, daß die Bedingungen, die eine solche Entstehungsweise des Petroleums fordert, in der

Digitized by Google

Natur in großem Maßstabe gegeben sind. Auch beweist die Chemie, daß das Petroleum nicht nur Kohlenstoff und Wasserstoff, sondern auch Schwefel und Stickstoff enthält, Elemente, die im Körper der Lebewesen eine Rolle spielen.

Trotzdem man also von vornherein die Unwahrscheinlichkeit solcher Hypothesen erkennt, seien doch einige der Experimente angedeutet, auf die sich eine neuere Theorie der anorganischen Entstehung des Petroleums stützt[1].

Drei berühmte Chemiker, Berthelot, Mendelejeff und Moissan, haben diese Versuche angestellt.

Azetylen, ein bei normaler Temperatur gasförmiger Kohlenwasserstoff, ergab nämlich beim Durchleiten durch ein glühendes Rohr unter erhöhtem Druck ein flüssiges Kondensat (Benzol), so daß die genannten Gelehrten annahmen, es könne unter ähnlichen Bedingungen auch das Erdöl tief im Erdinnern durch vulkanische Einwirkungen entstanden sein. Die spezifischen Eigenschaften vieler Bestandteile des natürlichen Erdöls, das ein Gemisch von leicht flüchtigen, niedrig siedenden Kohlenwasserstoffen bis zu den zähflüssigen, hochsiedenden Verbindungen (Maschinen- und Schmierölen) und auch noch festeren Körpern von Butter- und Wachskonsistenz darstellt, ließen sich durch die erwähnten Laboratoriumsversuche auch an dem künstlichen Erdöl nachweisen. Auch die Möglichkeit des Ursprungs des Azetylens aus anorganischer, mineralischer Materie wurde experimentell nachgewiesen. Das Gas soll durch

1 Wulff, G, Über den Ursprung des Erdöls. 1912.

Digitized by Google

Polymerisation bei hohen Temperaturen und gewaltigem Drucke zu natürlichem Erdöl verdichtet worden sein. Die Richtigkeit dieser Hypothese wurde schließlich noch durch die Laboratoriumsversuche zweier bedeutender französischer Forscher, Sabatiers und Senderens, scheinbar bestätigt, die ein Gemisch von Azetylen und Wasserstoff über fein verteiltes, metallisches Nickel und Eisen streichen ließen, wobei sich diese Gase im Kontakte mit den Metallen zu flüssigem Kohlenwasserstoff verdichteten und so bei einer Temperatur bis 100° ein mit dem amerikanischen, bis 200° ein mit dem kaukasischen, bis 300° ein mit dem galizischen Erdöl übereinstimmendes Produkt ergaben.

So bestechend diese Hypothese durch ihre Klarheit auch ist, es fehlt diesem künstlichen Erdöl doch eine wesentliche Eigenschaft, die dem natürlichen zukommt, nämlich die sogenannte optische Aktivität, d. h. die Fähigkeit, die Ebene des polarisierten Lichtes zu drehen. Außer den Kristallen kommt diese Fähigkeit nur solchen Stoffen flüssigen oder nicht kristallenen Zustandes zu, die der tierische oder pflanzliche Organismus aufgebaut hat.

Dem Chemiker C. Engler in Karlsruhe ist es nun 1889 gelungen, aus tierischem Fett künstliches Petroleum herzustellen, und zwar indem er auf die Fette eine höhere Temperatur und einen ziemlich starken Druck einwirken ließ. Er bediente sich also der Druckdestillation.

Eine Destillation besteht bekanntlich darin, daß man das Material einer Temperatur aussetzt, bei der es ganz oder teilweise vergast. Die Gase werden in ein

Digitized by Google

kühles Gefäß geleitet, in dem sie sich wieder als Flüssigkeit niederschlagen. Eine Druckdestillation wird nun in einem von der Außenluft völlig abgeschlossenen Apparat vorgenommen, so daß die sich entwickelnden Gase den höheren Druck erzeugen.

Nun handelte es sich nicht nur darum, ähnliche Bedingungen in der Natur aufzusuchen. Die Frage war auch die: wo kommen in der Natur tierische Ablagerungen vor, die groß genug wären, um den gewaltigen vorhandenen Petroleummengen als Quelle dienen zu können?

Der Leser unserer bisherigen Ausführungen hätte auch ohne eine vorherige Andeutung gewußt, welche Ablagerungen hier zunächst in Frage kommen. Bis vor kurzem waren aber die Faulschlammlager noch nicht hinreichend erforscht, und so versteht man die eigentümlichen Hypothesen, die dem Verständnis der Petroleumentstehung dienen sollten.

Wie auch schon zur Erklärung mancher anderen, zunächst ohne Beziehung dastehenden Tatsache der Geologie, glaubte man mit Cuvier große Katastrophen, riesiges Tiersterben annehmen zu müssen. Noch heute ist diese Theorie nicht ganz aus der Literatur verschwunden.

Bertels gibt uns 1892 eine Schilderung, aus der man erfährt, wie sich der Gelehrte das Zustandekommen eines Massengrabes vorstellt, aus dem dann später Petroleum entstehen könnte. Als erstes wird das Vorhandensein großer Mengen von Meertieren angenommen, und diese Meertiere sollen in der Nähe eines sehr steilen Ufers gelebt haben, von dem bei starken Regenfällen mit reißender Gewalt die Schlammassen ins Meer

Digitized by Google

hinabgespült wurden und so unzählige Tiere bedecken mußten.

Wenn andere Gelehrte demgegenüber zu der Meinung hinneigen, die Petrolea seien rein pflanzlicher Herkunft, so ist auch dies von unserem Standpunkt aus nicht ganz einwandfrei.

Wir wissen, daß die Faulschlammgesteine sowohl aus mikroskopisch kleinen Pflanzen als auch aus winzigen Tieren bestehen. Höchstwahrscheinlich werden die Ölalgen bei der Entstehung des Petroleums keine geringe Rolle spielen.

Der Faulschlamm ist nun nicht das Produkt irgendeines komplizierten Ereignisses, wie z. B. eine Katastrophe es ist, vielmehr ist seine Entstehung von einer Prosa und Alltäglichkeit, die allein den großen Mengen des vorhandenen Petroleums entspricht. Trotzdem ohne weiteres zugegeben werden muß, daß da, wo eine Katastrophe vorgekommen ist, wie sie soeben geschildert wurde, ebenfalls Petroleum entstehen kann, so ist es doch ganz offensichtlich, daß solche Ursache einer Petroleumentstehung zu den Ausnahmen zu rechnen sein dürfte. Wir sagen also schon jetzt: die Faulschlammgesteine sind die Muttergesteine der Petrolea.

Die Tatsache, daß sich nach der Englerschen Methode auch aus den Pflanzen Petroleum zu bilden vermag, läßt sich jederzeit nachprüfen. Zur Zeit der Wasserblüte im August werden oft große Mengen der winzigen Algen ans Land gespült, und dort kann der oft grüne Brei aufgelöffelt werden. Untersucht man dieses Material mikroskopisch, so kann man gelegentlich feststellen, daß diese Wasserblüte, wie sie z. B. in der

Digitized by Google

Havel vorkommt, fast nur aus einer einzigen Algenart der Gattung Makrozystis besteht. Wird dieses Material der Druckdestillation unterworfen, so bilden sich aus den 22% von Fetten und Ölen, die diese Algen enthalten, Petrolöle.

Auch aus Faulschlamm kann man mit Hilfe der Druckdestillation künstlich Petroleum erzeugen.

Wenn man das Petroleum einer Faulkohle gewinnen will, so ist hierzu keine Druckdestillation mehr nötig; man kann es durch einfache Destillation erhalten, da der Zersetzungsprozeß schon weiter vorgeschritten ist.

Bei den mannigfachen Wandlungen, die in der Erdkruste vor sich gehen, kann ein Faulschlammlager leicht in tiefere Erdschichten gelangen. Dort wird der Druck ein größerer und auch die Temperatur eine höhere sein. Es kommen also in der Erdkruste Bedingungen vor, die denen der Druckdestillation im Prinzip gleichen. Wenn nun auch die Temperatur, wie sie auf die fossilen Faulschlammlager einwirkt, für gewöhnlich weit unter dem stehen mag, was wir im Laboratorium erzeugen, so muß man sich doch vergegenwärtigen, daß die Temperatur bei unseren Experimenten nur reaktionsbeschleunigend wirkt, daß also bei den langen Zeiten, die das natürliche Petroleum zu seiner Entstehung zur Verfügung gehabt hat, keine so hohe Temperatur nötig war. Das heißt noch einmal: eine bestimmte Temperatur leistet in einer gewissen kurzen Zeit dasselbe wie eine niedrigere Temperatur in einer längeren Zeit. Durchschnittlich beträgt die Bodentemperatur in Deutschland 5° und wird mit je 100 m, die wir uns dem Erdmittelpunkt nähern, um 3° höher. Engler aber hat

Digitized by Google

den Faulschlamm, den ich ihm gesandt habe, einer Temperatur von 350° und darüber ausgesetzt.

Der Druck, unter dem ein Faulschlammgestein stehen könnte, setzt sich zusammen aus Gebirgsdruck und aus Gasdruck. Der Gebirgsdruck beträgt in den tiefsten Schichten, in denen noch Kohlen gefunden worden sind, 100 Atmosphären, während Engler seine Versuche bei nur 15—20 Atmosphären gemacht hat. Zu dem Gebirgsdruck gesellt sich der Gasdruck. Daß der Gasdruck sich in der Umgebung eines Faulschlammlagers steigern muß, wenn das Gas durch die umgebenden Gesteinsmassen verhindert wird, sich zu verteilen, ist ganz augenscheinlich, geht doch die Entstehung immer neuer Gasmassen mit der fortschreitenden Selbstzersetzung aller dieser brennbaren Gesteine, besonders aber der Faulschlammgesteine Hand in Hand.

Man erinnere sich hier an die plötzlich neu entstandene Insel im Ögelsee bei Beeskow in der Mark.

Die ursprünglich 70 m lange und 30 m breite Insel dürfte durch Gase emporgehoben worden sein, die sich in dem stark mit Faulschlamm untermengten Boden des Sees gebildet haben. Immerhin muß man aber noch nach dem Besonderen suchen, was diese Gase bis auf weiteres festgehalten und am allmählichen Austreten verhindert hat. Als ich die Insel zum ersten Male besuchte, waren durch Einstecken eines Stockes am Rande der Insel noch leicht größere Quantitäten des brennbaren Gases (namentlich war es Methan, auch Sumpfgas oder Grubengas genannt) zu gewinnen. Man sieht in stagnierenden, Faulschlamm führenden Gewässern die Gase in einzelnen Blasen regelmäßig, namentlich

Digitized by Google

natürlich in der warmen Jahreszeit emporsteigen, aber sie würden im Untergrunde festgehalten werden können, zusammen mit den sich später bildenden Gasmassen, wenn es gelänge, den ganzen See mit einem dichten Deckel abzuschließen. Das hat nun die Natur bei dem Ögelsee besorgt. Nach der ganzen Gestaltung des umgebenden Geländes umfloß ursprünglich die von Süden kommende Spree den See im Westen und hing nur im Norden durch eine schmale Wasserverbindung mit ihm zusammen, weshalb der See ein ziemlich stillstehendes Wasser gewesen sein muß. Das geht auch aus der viele Meter mächtigen Schlammschicht hervor, die den See erfüllt. Es handelt sich im wesentlichen um einen Faulschlammkalk, dessen Kalkgehalt durch die kalkschalenbildenden Organismen hineingekommen ist, die in dem See gelebt haben. Nachdem sich der ursprünglich — wie aus Bohrungen hervorgeht — über 30 m tief gewesene See soweit mit dem Faulschlammkalk angefüllt hatte, daß die Seetiefe nur noch rund 4 m betragen haben mag, wurde der südlich an den See herantretende Teil der Spree mit dem Südteil des Sees durch einen Durchstich verbunden — wenigstens ist das anzunehmen, da dieser Teil der Spree bei der Landbevölkerung auch heute noch der Durchstich heißt. Anderenfalls wäre es auch nicht ausgeschlossen, daß sich die Spree selbst von Süden her einen Zugang zu dem See verschafft haben könnte. Jedenfalls wird er heute in seiner ganzen Länge von der Spree durchflossen, und die ursprüngliche nördliche Verbindung ist jetzt seine Ausflußstelle. Mit dieser Veränderung, die vielleicht vor einigen hundert Jahren statt-

Digitized by Google

gefunden haben könnte, hörte die relative Ruhe in dem See auf: er war kein See mehr, der durch reichere Bildung von Faulschlammkalk auf eine hinreichende Bewegungslosigkeit des Wassers deutete. Vielmehr wurde jetzt von der Spree reichlich Sand in ihn hineingeführt, der sich mit dem neu entstehenden Faulschlamm vermengte, der überdies nicht mehr in so reichem Maße zur Ablagerung gelangen konnte, weil durch die Sauerstoff zuführende Spree nunmehr ein größerer Teil der absterbenden Organismen zur vollständigen Zersetzung, zur flammenlosen Verbrennung gebracht wurde. Daher bildete der sich neu aufschüttende Seeboden, da der unter Wasser abgelagerte Sand sich dicht packt, einen gut abschließenden Deckel auf dem älteren Faulschlammkalk, und dieser ließ, nachdem er nur einige Mächtigkeit erreicht hatte, Gasblasen zunächst noch schwer und endlich gar nicht mehr an die Oberfläche durch. Dieser neue, stark sandige Seeboden besitzt jetzt eine Dicke von einem halben Meter und mehr. Der ganze See gleicht nunmehr gewissermaßen einer Konservenbüchse, deren Inhalt ein Faulschlammkalk ist. Den Abschluß bildet ein Deckel von Sand, gemischt mit wenig Faulschlamm. Die weitere Selbstzersetzung der brennbaren organischen Bestandteile in dem Faulschlammkalk hat dann schließlich den Deckel der Konservenbüchse durch die Gasentwicklung gesprengt, ebenso wie das bei einer richtigen Konservenbüchse statthaben kann, deren Inhalt in Zersetzung begriffen ist. Denn das spezifische Gewicht des unter der Sanddecke eingeschlossenen Materials mußte mit dem sich steigernden Gasgehalt immer geringer werden, so daß schließlich

Digitized by Google

nur eine Auslösung notwendig war, um die kleine Katastrophe hervorzurufen, die die Insel erzeugt hat.

Die Entstehungsweise der Ögelinsel wurde hier dargestellt, um dem Leser zu veranschaulichen, wie sehr sich der Gasdruck zu steigern vermag, wenn die bei der Zersetzung entstehenden Gase am Entweichen verhindert werden. Auch gewährt das geschilderte Phänomen einen Einblick in den natürlichen Destillationsprozeß, der, wie man sieht, auch schon bei gewöhnlicher Temperatur vonstatten geht. Daß auch bei der Weiterzersetzung der verschiedensten Kohlen immer noch viel Gas entsteht, wurde schon mitgeteilt. Wieder sei an die allbekannte Tatsache der namentlich in Braunkohlenbergwerken vorkommenden schweren Wetter erinnert, die aus Kohlensäure bestehen; und weiter an die so hochgefährlichen Schlagwetter der Steinkohlenbergwerke. Wenn nun solche Gase innerhalb eines Lagers von fossilem Faulschlamm am Entweichen verhindert werden, vielleicht in ähnlicher Weise, wie dies im Ögelsee der Fall gewesen ist, so sind schon hierdurch die Bedingungen einer Druckdestillation in ausgeprägter Weise gegeben und das Petroleum kann entstehen.

Der Experimentator verändert bei dem Versuch der künstlichen Petroleumerzeugung also im Prinzip nur einen Faktor: er nimmt eine höhere Temperatur zu Hilfe. Täte er dies nicht, so würde er ebensolange auf das Resultat warten müssen, wie die Petroleumentstehung in der Natur währt.

Seitdem die Lebewesen auf unserer Erde existieren, sind immer wieder die Grundbedingungen zur Bildung der Muttergesteine des Petroleums vorhanden

Digitized by Google

gewesen. Aus jedem Gestein, das sich im Meere absetzt und in das sich eine gewisse Menge von Organismenresten einlagert, kann Petroleum hervorgehen. Geraten jedoch solche faulschlammhaltigen Gesteine durch die gebirgsbildende Tätigkeit der Erde nicht in genügende Tiefen oder unter ungenügenden Abschluß, so daß weder eine höhere Temperatur auf sie einwirkt noch ein größerer Druck vorhanden ist, so entsteht kein Petroleum. Hierfür gibt es Beispiele.

Ein häufig in Frage kommender Grund der Entstehung von Petroleum dürfte aber wohl der sein, daß die Gase usw. durch abschließende Gesteine am sofortigen Entweichen verhindert werden.[1]

Da sich häufig Petroleumquellen in der Nähe von Steinsalzlagern gefunden haben, so lag die Vermutung nahe, die Salze hätten die Fähigkeit, den Prozeß der Petroleumentstehung zu befördern. Diese Vermutung besaß in noch einer anderen Tatsache eine weitere Stütze: Faulschlammgesteine, die viel mineralische Substanz enthalten, ergeben nämlich bei der Destillation oft mehr Petroleum als reine Faulschlammgesteine.

Hier sei auf Versuche von Bergius hingewiesen, dem es gelungen ist, eine einwandfreie künstliche Kohle herzustellen (hierüber vergl. S. 98). Bergius setzte dem Holz, aus dem er seine Kohle herstellte, Wasser zu, da auch die natürlichen Kohlen stets in Gegenwart von Wasser entstehen. Als nun Bergius nach Beendigung seines Versuches das zurückbleibende Wasser ansah, da fand er, daß in diesem in feinster Verteilung, also

1 Hierüber und über das folgende vergl. R. Potonié, Die Herkunft des Petroleums; Naturwissenschaften 1914.

Digitized by Google

in kolloidaler Lösung dieselben Fette vorhanden waren, aus denen Engler sein Petroleum hergestellt hat. Sicherlich würde Bergius weit mehr von solchen Fetten gefunden haben, wenn er seine Kohle aus Faulschlamm oder aus Algen fabriziert hätte. Als er nun diesem fetthaltigen Wasser Salzlösung hinzusetzte, da fielen die kolloidal gelösten Fette aus.

An diese Beobachtung knüpft Bergius die folgende Vermutung: „Man könnte sich vorstellen, daß die bei der Inkohlung von organischem, im wesentlichen tierischen Material gebildeten fettartigen, bei ihrem Zerfall Petroleum liefernden Verbindungen sich in dem während der Inkohlung stets vorhandenen Wasser kolloidal lösten. Sie konnten dann mit dem lösenden Wasser an ein Salzlager transportiert werden und dort der Elektrolytwirkung anheimfallen, so daß sie an dieser Stelle von dem Wasser getrennt wurden. Während das Wasser durch das Salzlager versickerte, konnten die ausgeschiedenen Fettstoffe unter Kohlensäureabscheidung den Zersetzungsprozeß erleiden, welcher zum Petroleum führt. Man braucht, wenn man sich dieser Vorstellung anschließt, die Einwirkung hoher Temperaturen bei der Erdölbildung nicht mehr anzunehmen, denn man kann mit Hilfe des Nernstschen Theorems leicht erkennen, daß die Umwandlung hoher Fettsäuren in Petroleumkohlenwasserstoffe unter CO_2-Abspaltung eine bei gewöhnlicher Temperatur freiwillig verlaufende Reaktion ist."

Auch wenn man annimmt, ein guter Abschluß, der die Destillationsprodukte, die Gase, am Entweichen hindert, sei der Faktor der Petrolentstehung, ist man nicht gezwungen, hohe Temperaturen vorauszusetzen.

Digitized by Google

Es scheint aber keineswegs unmöglich, daß die Vermutung von Bergius nicht vielleicht doch hier und da Geltung hat. Betrachten wir daher seine Anschauung einmal etwas näher und fügen wir einiges hinzu.

In dem Wasser, das den Faulschlamm durchsetzt, lösen sich die beim Zersetzungsprozeß (Destillationsprozeß) des Faulschlamms entstehenden Fette kolloidal. Sind aber in diesem selben Wasser bereits irgendwelche Mineralien gelöst, so werden sich die Fette nur noch wenig oder gar nicht lösen können. Die kolloidale Lösung wird eine um so unvollkommnere sein, je mehr mineralische Substanz das Wasser gelöst enthält. Seien es nun diese oder jene gelösten Stoffe, sie werden diffundieren, d. h. sie werden sich nicht nur gleichmäßig in dem Wasser verteilen, das den Faulschlamm durchsetzt, sie werden sich auch in der Flüssigkeit ausbreiten, die das Faulschlammlager umgibt.[1] Und in demselben Maße, wie sich durch diesen Vorgang die Lösung innerhalb des Faulschlammlagers verdünnt, werden sich neue Bestandteile in dem Wasser lösen.

Liesegang hat die Bedeutung der Diffusion neuerdings zusammenfassend dargestellt, und zwar einerseits durch kurze Wiedergabe der sehr zerstreuten Literatur, anderseits durch Einfügung eigener Beobachtungen und Theorien.

Immer weiter, sagt Liesegang, suchen die Geologen in der Erdkruste nach Spalten, nach offenen Bahnen, in denen sich gelöste Stoffe fließend fortbewegen oder

1 Raphael Ed. Liesegang, Geologische Diffusionen. Dresden 1913

Digitized by Google

aber mineralbildende Gase aufsteigen können. Es ist zweifellos, daß solche offenen Wege von außerordentlicher Bedeutung für die geologische Dynamik sind. Aber man vergißt hierüber sehr oft, daß daneben noch jene andere Art der Fortbewegung der hier in Betracht kommenden Materien möglich ist, nämlich die durch Diffusionen.

Um kurz daran zu erinnern, was eigentlich Diffusion ist, soll dem kleinen Werke Liesegangs die Beschreibung eines einfachen bekannten Experiments entnommen sein: Ein größeres Becherglas wird mit 1—2 l Wasser gefüllt, welches durch etwas Lackmustinktur und 2—5 ccm Salzsäure rot gefärbt worden ist. Wirft man 10—20 g Ätzkali oder Ätznatron in Stangenform hinein, so vergeht einige Zeit, bis sich dies gelöst hat. Nach einer Viertelstunde ist der untere Teil der Flüssigkeit etwa 1 cm hoch tiefblau gefärbt. Darüber steht die unveränderte rote Flüssigkeit. Die Grenze zwischen Blau und Rot ist haarscharf. Markiert man diese Grenze, so findet man nach einem Tage, daß sie sich etwa 4 cm nach oben verschoben hat. In den folgenden Tagen rückt sie mit 2 cm Geschwindigkeit immer weiter nach oben. Das Alkali diffundiert der Schwerkraft entgegen nach aufwärts.

Im Verhältnis zu dem, was das Fließen leistet, ist die Geschwindigkeit der Diffusion also tatsächlich eine äußerst geringe. 2 cm pro Tag ergeben aber in kaum anderthalb Jahrhunderten einen Kilometer, und der Geologe hat sehr viel Zeit zur Verfügung.

Die Vorgänge sind im Prinzip die gleichen, wenn man als Medium statt einer leichtbeweglichen Flüssig-

Digitized by Google

keit z. B. eine Kieselsäuregallerte annimmt. Eine Fortbewegung durch Strömung ist darin natürlich vollkommen ausgeschlossen. Auch in angefeuchtetem Sand oder Ton breiten sich die diffundierenden Stoffe in der gleichen Weise aus. Kommen sie von oben, so kann sich natürlich je nach der Porosität des Mediums ein mehr oder weniger starkes Sickern dazu gesellen. Die Aufwärtsbewegung erfolgt aber ausschließlich durch Diffusion. Denn mit aufsteigenden Quellen, die bisher fast überall zur Deutung einer derartigen Stoffwanderung herangezogen werden, kann man hier nicht rechnen.

Sind also in dem Wasser eines Faulschlammlagers gar keine oder nur wenige Mineralien enthalten, so werden sich darin die Fette kolloidal lösen. Diese Fette könnten dann diffundieren und so allmählich das Faulschlammlager verlassen. Wo sie dann mit Salzen zusammenkommen würden, da müßten sie, wie das Experiment von Bergius zeigt, ausfallen, es müßte sich eine Ablagerung bilden, die dann im Laufe der Zeit zu Petroleum werden kann. Dies wäre in der Tat eine Erklärung des Auftretens von Petroleumquellen in der Nähe von Salzlagern.

Denken wir demgegenüber den anderen Fall zu Ende, nämlich den eines Vorhandenseins größerer Mengen gelöster Mineralien in dem Wasser, das den Faulschlamm durchsetzt. Es ist ohne weiteres klar, daß die festen Fette in diesem Fall nicht den Faulschlamm verlassen können. Die Fette werden innerhalb des Faulschlamms zu Petroleum werden müssen, wie dies die mineralhaltigen Faulschlammgesteine ja auch zeigen.

Digitized by Google

Einzelne der größten Petrolvorkommen, wie z. B. dasjenige Ohios und Indianas im dortigen siluriſchen Trentonkalk, nehmen nämlich noch heute den Ort ihrer Entſtehung ein. Hier ſind die Fette alſo an Ort und Stelle zu Petroleum geworden; wahrſcheinlich wurden ſie alſo durch die Salze des Meerwaſſers vor Löſung und Diffuſion bewahrt.

Das häufige Auftreten von Petroleum in der Nähe von Steinſalzlagern kann aber noch einen beſonderen Grund haben. Wir haben geſehen, daß ſich ganz beſonders mächtige Lager von Faulſchlammgeſteinen in den Buchten des ſalzhaltigen Meeres bilden können. Man erinnere ſich an die Ablagerungen im Kuriſchen Haff. Dieſelben ruhigen Waſſerſtellen, die eine Entſtehung von Faulſchlamm begünſtigen, ermöglichen unter Umſtänden auch die Entſtehung natürlicher Salzgärten.

Wo man das Petroleum in flüſſigen Anſammlungen außerhalb der Faulkohlenlager findet, da iſt aber auch an eine Herausdeſtillation zu denken, wie ſie oben angedeutet wurde. Hierzu müßten ſich beſtimmte Gaſe, die ſich im Faulkohlenlager gebildet haben, anderswo als Petroleum wieder niedergeſchlagen haben. Die Bedingungen, die in der Natur ſolche Deſtillation ermöglichen, werden im folgenden klarer werden.

Das Petroleum wird ſich ſchließlich an den Stellen des geringſten Gebirgsdrucks ſammeln. Um dies zu veranſchaulichen, ſei ein kleines Experiment mitgeteilt, das Loheſt 1905 gemacht hat. Er hat weiches Geſtein übereinander geſchichtet und in der Mitte zwei dünne Lagen von Fett eingeſchaltet. Die Wände des Gefäßes, in dem er ſeinen Verſuch ausführte, waren beweglich.

Digitized by Google

Nachdem also in der angedeuteten Weise das Gefäß gefüllt war, wurden zwei seiner Wände einander genähert. So wurde durch seitlichen Druck ein gebirgsbildender Vorgang nachgeahmt, wie er durch die allmähliche Schrumpfung der sich abkühlenden Erdkugel bedingt wird. Da sich angeblich durch die Abkühlung der Erde ihre inneren Partien zusammenziehen, so wird ihr gleichsam der Mantel der auf ihr vom Meere abgelagerten Gesteine zu weit, aber da durch die Schwere auch die abgelagerten Schichten dem zurückweichenden Gestein folgen müssen, so entsteht eine oft wellenförmige Faltung, die immer beträchtlicher wird, ganz wie es bei der Haut eines vertrocknenden Apfels der Fall ist. Der geringste Gebirgsdruck wird dann in dem Kamm der entstehenden Falten vorhanden sein; dies zeigt auch das Experiment Lohests. Auch hier wölbt sich das Gestein zu einem Sattel empor. Schneidet man diesen dann wie ein Brot in senkrechter Richtung durch, so sieht man, daß sich das Fett besonders an der höchsten Stelle des Sattels angesammelt hat, die ihm zugänglich war. Hat sich irgendwo eine Spalte gebildet, so ist das Fett auch dorthin gedrungen. Auf jeden Fall zeigt uns dieser Versuch, wie sich ein einmal entstandenes Fett oder Petroleum an bestimmten Stellen ansammeln kann. Dasselbe wird auch mit den Gasen der Fall sein, die sich an solchen Stellen dann wieder zu Flüssigkeit verdichten oder aber in bereits vorhandener Flüssigkeit lösen werden.

Sehr lange bekannt sind brennende oder brennbare Gase und Flüssigkeiten, die dem Boden entströmen; sie stehen meist mit Petroleumvorkommen in Zusammen-

Digitized by Google

hang. Es ist begreiflich, daß derartige Vorkommnisse als etwas Übernatürliches angesehen wurden und göttliche Verehrung genossen. Die heiligen Feuer von Baku und anderswo in den Ländereien um den südlichen Teil des Kaspischen Meeres waren seit der Lehre Zarathustras den Feueranbetern Gegenstand religiöser Verehrung; noch heute gibt es Feueranbeter, gegen die die frühere russische Regierung, soweit ihr Bereich in Frage kam, seinerzeit eingeschritten ist. Der griechische Schriftsteller Plutarch berichtet von einem brennenden See bei Ekbatana, bei dem es sich vielleicht um ähnliche Erscheinungen drehte.

In manchen Fällen hat man solche Gasausströmungen nutzbar machen können. So werden in Amerika ganze Städte damit beleuchtet. Auch im Steinkohlengebirge — in der Steinkohle selbst wie gelegentlich im Zwischengestein — kommen solche Gasausströmungen vor, die man hier als „Bläser" bezeichnet und die zur Entstehung „schlagender Wetter" Veranlassung geben können. Selten ist hier die Ausströmung eine so stetige und langandauernde, daß man sie nutzbringend verwerten kann.

Um das Jahr 1860, als in Amerika die Petroleumgewinnung plötzlich einen gewaltigen Aufschwung nahm, wurde so viel Öl produziert, daß es nicht fortgeschafft werden konnte, da man auf derartige Quantitäten ganz und gar nicht vorbereitet war. Man ließ das Öl daher in flachen Kästen und Fässern den Alleghany hinunterschwimmen, wobei die Kästen oft genug zertrümmert wurden und das Öl ausfließen ließen. Die dort dem Erdboden entströmenden Gase entzündeten sich,

Digitized by Google

das Feuer sprang gelegentlich auf das auf dem Fluß schwimmende Öl über und ganze Gelände wurden so verwüstet. Heute leitet man das Öl in meilenlangen Röhrenanlagen (Pipe-lines) direkt von der Quelle zu den Reservoirs, und solche Zustände wie damals sind jetzt unmöglich gemacht. Die Verheerungen, verbunden mit der Vernichtung großer Werte bei der durch Unvorsichtigkeit eintretenden Entzündung künstlicher Ölquellen in den Öldistrikten, sind viel besprochen worden.

Durch ihre „heiligen Feuer" ist, wie gesagt, namentlich die Umgegend der russischen Stadt Baku, am westlichen Gestade des Kaspischen Meeres weitbekannt. Es gibt dort auch Naphthafontänen und Schlammvulkane. Diese letztgenannten entstehen dadurch, daß die sich ansammelnden Kohlenwasserstoffgase schließlich einen Druck ausüben, der gewaltig genug ist, um die Erdbedeckung an schwächeren Stellen zu durchbrechen. Es kommt deshalb zu Eruptionen dickflüssiger, toniger Schlammassen.

Wo die Erdölansammlungen durch Bohrlöcher angetrieben werden, da strömt die Naphtha erklärlicherweise gewaltsam empor. Oft steigt ein mächtiger Strahl hoch in die Luft. Es entstehen Fontänen, die entweder ununterbrochen springen oder nur in längeren oder kürzeren Perioden tätig sind.

Der Russe Sjörgen erklärt nach einem Auszug, der dem „Neuen Jahrbuch für Mineralogie, Bd. II" entnommen sei, diese Erscheinungen folgendermaßen.

Die Erdölgase lösen sich in der Naphtha auf, und zwar nach dem bekannten physikalischen Gesetz proportional der Größe des Drucks, mit dem sie auf der

Digitized by Google

auflösenden Flüssigkeit lasten. Wird nun ein subterranes Naphthabassin durch ein Bohrloch erschlossen, so wird die Flüssigkeit durch die Spannkraft der vom Drucke befreiten Erdölgase in dieses aufwärts gepreßt und springt mit den Gasen gemengt als Fontäne aus der Öffnung hervor. Der Druck der freien Gase auf den Spiegel der Flüssigkeit ist ein ganz bedeutender; nach einer manometrischen Messung beträgt er auf einen Quadratzoll 166 Pfund. Hierdurch erklärt sich die fabelhafte Kraft, mit welcher der Naphthastrahl aus der Bohrlochöffnung aufsteigt, und seine Geschwindigkeit, die nicht selten 60—70 m in der Sekunde beträgt.

Zur Erklärung der periodisch springenden Fontänen wird folgendes angenommen: Ist ein Bohrloch in seiner ganzen Länge mit Naphtha gefüllt, so ist es klar, daß der Druck, welcher auf den Flüssigkeitsschichten verschiedener Höhe lastet, ein verschiedener ist, und je nach der Größe des Druckes enthalten diese verschiedenen Schichten verschieden große Mengen von Gasen aufgelöst. Der obere Teil der Flüssigkeitssäule, der sozusagen nur unter dem Drucke der Atmosphäre steht, enthält nur so viel Gase, als dem atmosphärischen Drucke entspricht; in den anderen Teilen der Säule nimmt der Gasgehalt mit der Tiefe zu. Wird nun die obere Säule der Naphtha durch Pumpen aus dem Bohrloch entfernt, so steigt die Naphtha aus den tieferen Schichten nach und wird mit den Gasen, die sich, vom größeren Druck befreit, mit Ungestüm entwickeln, in die Höhe getrieben. Die Eruption beginnt also im oberen Teile des Bohrlochs und pflanzt sich von hier zu tieferen Teilen fort, bis allmählich wieder Ruhe eintritt.

Digitized by Google

Es gibt bestimmte Faulschlammgesteine, die Kohlenstoff in reiner Form enthalten, unter anderem als Graphit. Von diesen Lagern könnte man annehmen, durch die eine energischere Destillation bedingende Hitze seien gewisse Partien der organischen Substanz bereits vollständig zersetzt worden. Dann dürfte man vielleicht auch weiter vermuten, daß gewisse Graphitlager früher einmal Faulkohlenlager gewesen seien, bei denen der Destillationsprozeß nun beendet sei.

Wo das Petroleum sich angesammelt hat und später wieder verdunsten kann, da es von der Außenluft nicht genügend abgeschlossen ist, da bleiben je nach der Art des Petroleums, die ja vom Ausgangsmaterial bestimmt ist, die verschiedensten technisch wertvollen Gesteine als unverdunstlicher Rest zurück. Zunächst sei hier das Erdwachs oder Bergwachs genannt. Dieses entsteht auch, wenn man Paraffinpetrol einem Luftstrom aussetzt; es bleibt dann als Paraffin zurück. Die Naphthenpetrole ergeben als Rückstand Asphalt, den man auch Erdpech, Erdteer oder auch Bergpech und Bergteer nennt. Fast überall, wo sich Petroleum findet, tritt demzufolge auch Asphalt auf. Wir müssen derartige Gesteine also als abgeleitete Faulschlammgesteine bezeichnen. Ihre ganz verschiedenen Eigenschaften sind oft auch die Folge nachträglicher chemischer Umwandlungen, die teils in ihnen selbst durch innere Umsetzung vorgehen (Polymerisation), teils durch eine nachträgliche Verbindung mit dem Sauerstoff der Luft (Oxydation) veranlaßt werden.

Die abgeleiteten Faulschlammgesteine bilden eine lange Reihe von Körpern, vom leichtflüssigen Öl bis zur festen steinkohlenähnlichen Substanz.

Digitized by Google

Die wichtigsten Ergebnisse unserer Betrachtungen sind nun:

Wir haben die verschiedensten Faulschlammgesteine als die Muttergesteine der Petrolea zu betrachten.

Durch den bei jeder Temperatur vor sich gehenden Selbstzersetzungsprozeß der Faulschlammgesteine entstehen nicht nur Gase, die sich unter Umständen zu Erdölen verdichten können, sondern auch Körper vom Charakter hoher Fettsäuren, wie sie durch weitere Selbstzersetzung zu Petroleum werden, ohne vorher zu vergasen. Im ersteren Fall werden wir da, wo wir das Petrol außerhalb des Muttergesteins finden, von einer Herausdestillation sprechen, im zweiten Fall von einer Diffusion.

Die Temperatur wirkt wie bei allen Selbstzersetzungsprozessen nur reaktionsbeschleunigend.

Die Petrolea werden sich immer dort ansammeln, wo der Gebirgsdruck der geringste ist.

Die Tatsache, daß das Petroleum so häufig in der Nähe von Salzlagern vorkommt, erklärt sich nicht nur daraus, daß die Sapropelitablagerungen und die natürlichen Salzgärten beide gern aus ruhigen Meeresbuchten entstehen, sondern wohl auch aus der die Fette ausfällenden Wirkung gelöster Mineralien.

Was wird aus dem Torf?

Bisher haben wir uns eingehender nur mit den verschiedensten Bildungen beschäftigt, in die sich der Faulschlamm verwandeln kann. Sehen wir jetzt genauer zu, was aus dem Torf wird.

Digitized by Google

Wir erinnern uns, daß das lebende Pflanzenmaterial zu Humusstreu werden kann, diese weiter zu Torf, und wenn wir uns nun überlegen, was denn die nächstältere uns bekannte Humusbildung sei, in die der Torf nun erst einmal übergehen müßte, so kommen wir zweifellos auf die Braunkohle. In noch älteren Erdschichten findet sich im allgemeinen die Steinkohle, und die älteste Kohle, die wir kennen, ist meist der Anthrazit.

Geht nun jeder Torf diesen Entwicklungsgang?

Betrachtet man die genannten Kohlensorten vom chemischen Standpunkte aus, so könnte man geneigt sein, diese Frage ohne weiteres zu bejahen. Als wir uns im Anfang unserer Betrachtungen den Prozeß der Kohlenwerdung vergegenwärtigten, da haben wir gesehen, wie nach Maßgabe der immer weiter schreitenden Selbstzersetzung der Kohlenstoffgehalt des Gesteins ein immer größerer wird. Wir sahen, daß die unter völligem Luftabschluß vor sich gehende flammenlose Selbstverbrennung im wesentlichen darin besteht, daß der in dem Gestein vorhandene Sauerstoff sich in Verbindung mit dem Wasserstoff als Wasser und in Verbindung mit Kohlenstoff als Kohlensäure von dem Gestein trennt. Da aber in der Zellulose wesentlich mehr Kohlenstoff und Wasserstoff vorhanden ist, als der Sauerstoff zu binden vermag, so muß der Sauerstoffgehalt ständig abnehmen. Dies zeigt denn auch die Reihenfolge der aufgezählten Kohlen. Man sieht dies schon daran, daß der Wassergehalt der Kohlen ein immer geringerer wird. Braunkohle enthält in bergfeuchtem Zustand meist etwa 30—50, manchmal auch noch mehr Prozent Wasser.

Digitized by Google

In der Steinkohle findet man dagegen nur noch 2%, und der Anthrazit weist sogar nur noch ½% Wasser auf, was ihn naturgemäß zu einem ganz hervorragenden Heizmaterial macht. Hiermit hing es ja auch zusammen, daß sich in den Braunkohlenbergwerken häufiger die durch Kohlensäure verursachten Schwaden oder matten Wetter einstellen, während in den Steinkohlenbergwerken die durch ein Kohlenwasserstoffgas, das Grubengas, verursachten schlagenden Wetter auftreten. In den Steinkohlen ist eben die Kohlensäureproduktion bereits vollkommen in den Hintergrund getreten, da der hierzu nötige Sauerstoff kaum noch vorhanden ist. Weil sich nun aber die Kohle trotzdem weiter zersetzt, obgleich sie doch jetzt im wesentlichen nur noch aus festen Kohlenwasserstoffen besteht, so ist das sich nunmehr abspaltende Gas gleichfalls ein Kohlenwasserstoff. Aus allen diesen Gründen wäre also gegen die oben angegebene Reihenfolge nichts einzuwenden.

Es wurde in einem der vorangehenden Abschnitte bereits davon gesprochen, wie man versucht hat, künstliche Steinkohle herzustellen. Erst neuerdings ist dies in einwandfreierer Weise gelungen.

Seit man die Selbstzersetzungsvorgänge kennt, die die Entstehung der Kohle bedingen, ist der Gedanke einer künstlichen Nachahmung dieses Prozesses sehr naheliegend. Wollte man nun versuchen, die Bedingungen ganz genau nachzuahmen, unter denen in der Natur Torf zu Kohle wird, so müßte man den Torf in ein völlig von der Außenluft abgeschlossenes Gefäß bringen. Es müßte auf das Material derjenige Druck ausgeübt werden, den im Durchschnitt die die Kohlen

Digitized by Google

überlagernden Gebirgsschichten ausüben, und man müßte auch die Temperatur berechnen, die durchschnittlich in der Umgebung eines Kohlenlagers herrscht. Würde man alle diese Bedingungen erfüllen, so könnte man versichert sein, aus dem Torf schließlich Steinkohle entstehen zu sehen, vorausgesetzt allerdings, daß man ebensolange wartet, wie die Kohlenwerdung in der Natur dauert. Wir sehen also, in dieser Weise ist der Versuch undurchführbar. Es kam aber schon einmal in diesem Buche zur Sprache, daß ein chemischer Vorgang um so schneller verläuft, je höher die Temperatur ist, bei der er vor sich geht. Man sagt, die Temperatur wirke reaktionsbeschleunigend. Stets haben daher die Experimentatoren, wo ihnen ein Prozeß zu langsam verlief, durch höhere Temperaturen nachgeholfen.

Zunächst sei ein Versuch mitgeteilt, den Alexander Petzoldt 1841 angestellt hat. Er tat Holzstücke in starkwandige gußeiserne Büchsen, die fest und luftdicht verschlossen wurden. Diese Büchsen wurden dem Feuer ausgesetzt. Nach Beendigung des Experiments fand sich in ihnen eine schwarze, glänzende, geschmolzen gewesene Masse, die fast nur noch den halben Raum des ursprünglichen Holzes einnahm. Wenn wir uns heute überlegen, ob es denn nun wirklich so ganz und gar Steinkohle gewesen sein kann, was Petzoldt auf die beschriebene Weise hergestellt hat, so kommen wir zu dem Ergebnis, daß die Hitze, die bei seinem Experiment die Zeit ersetzen sollte, wohl etwas zu hoch gewählt war. Trotzdem wir nach allem, was wir bisher von der Entstehung der Steinkohle wissen, das Experiment von Petzoldt als einen sehr beachtenswerten Versuch

Digitized by Google

bezeichnen müssen, werden wir doch zu der Ansicht gelangen, daß ein auf solche Weise hergestelltes Material kohlenähnlicher werden wird, wenn man eine niedrigere Temperatur auf die eingeschlossene Pflanzensubstanz wirken läßt. In dieser Hinsicht verdient eine Beobachtung Interesse, die Petzoldt einige Jahre später mitteilt. Holzpfähle, die beim Bau einer Brücke mit Dampframmen in den Boden getrieben werden sollten, waren an ihrem unteren Ende mit einem eisernen Schuh bekleidet. Als sich die Ramme in Tätigkeit setzte, schienen die Pfähle den Schlägen nachzugeben und in den Boden zu dringen. Später zeigte sich jedoch, daß sie von Felsen am Eindringen gehindert worden waren und sich unmittelbar über dem Eisenschuh gestaucht hatten. Als dann die gestauchten Teile der Pfähle untersucht wurden, da ergab sich, daß einige von ihnen an diesen Stellen innen zu Kohle geworden waren. Und zwar nicht etwa zu Holzkohle, deren Entstehungsweise schon mitgeteilt wurde (S. 19), sondern es zeigte sich außen das unverändert gebliebene Holz, in seiner Mitte ein Klumpen Kohle und zwischen diesem und dem unveränderten Holz der Reihe nach von innen nach außen geschwärztes, stark gebräuntes, schwach gebräuntes und endlich gelblich gefärbtes Holz. Sicherlich ist es von größtem Interesse, daß sich die am stärksten inkohlte innerste Partie wie Anthrazit verhielt, während die mehr außen gelegenen braunen Teile an Braunkohle erinnerten.

Ein ähnlicher Sachverhalt zeigt sich auch an Holzstempeln, die lange Zeit in einem Bergwerk waren und hier einen bedeutenden Druck auszuhalten hatten.

Digitized by Google

Nebenbei sei darauf aufmerksam gemacht, daß diese Tatsache beweist, wie ein besonders starker Druck doch den Selbstzersetzungsprozeß zu beschleunigen vermag, besonders dann, wenn dieser Druck längere Zeit einwirkt. Vielleicht ist dies zum Teil auf die vom Druck erzeugte Wärme zurückzuführen. Wenn man Papier, das doch auch aus Zellulose besteht, nur kurze Zeit einem starken Druck aussetzt, so bleibt es so weiß wie zuvor.

Sind wir nun auch ohne weiteres zu der Ansicht gelangt, die zersetzten Partien innerhalb der einem starken Druck ausgesetzt gewesenen Hölzer seien wenigstens teilweise mit gewissen Kohlen mehr oder minder identisch, so werden wir uns doch für jeden neuen Versuch interessieren, der die Entstehung der natürlichen Kohlen künstlich nachzuahmen strebt. Das, was in den Holzpfählen und in den Bergwerkstempeln vor sich gegangen ist, hat Petzoldt durch sein Experiment keineswegs künstlich nachgeahmt. Vielmehr ist der Prozeß, der in seinen Büchsen vor sich ging, eher mit einer Holzdestillation zu vergleichen. Die Zersetzung war durch die zu große Hitze eine so radikale, daß sich das Holz in Holzkohle, in Holzteer und in Gase zersetzte. Die vermeintliche Kohle war also nichts anderes als Holzteer, durchsetzt mit Holzkohle. Auch aus der Steinkohle erhalten wir bei starker Erhitzung ganz entsprechend Koks, Teer und Gase, aber wohlgemerkt: erst nach starker Erhitzung.

Ein vollkommenerer Versuch, die Steinkohle künstlich herzustellen, ist der schon erwähnte von Bergius[1].

1 F. Bergius, Die Anwendung hoher Drucke bei chemischen Vorgängen und eine Nachbildung des Entstehungsprozesses der Steinkohle. Halle a. S. 1913.

Digitized by Google

Eine Temperatursteigerung kann nicht nur die Reaktionsgeschwindigkeit erhöhen, sondern auch den Reaktionsweg so beeinflussen, daß die Inkohlungsprodukte eines Laboratoriumversuches anders werden, als die natürlichen Produkte sind. Wir wissen nun auch, daß die bei gewöhnlicher und etwas erhöhter Temperatur relativ stabile Kohle bei hoher Temperatur in verschiedenartige Kohlenwasserstoffe und Koks zerfällt. Will man also im Laboratorium die Temperatursteigerung nur zur Reaktionsbeschleunigung benutzen, so wird man sich davor hüten müssen, eine Temperatur zu wählen, bei welcher die natürliche Kohle nicht mehr stabil ist, bei der also der eben erwähnte Verkohlungsvorgang schon einsetzt. Erwärmt man aber Zellulose oder Holz auch nur so hoch, daß die Zersetzungsgeschwindigkeit erheblich wird, so wird eine Reaktionswärme entstehen, die eine weitere Erhitzung der Substanz von innen heraus bewirkt. Die Temperatur steigt dann hoch über die der Umgebung, weil die kohlige Masse, ein schlechter Leiter, die entwickelte Wärme nicht abführt. Die Folge ist wieder eine zu weit gehende Zersetzung, und der Wasserstoffgehalt einer solchen künstlichen Kohle würde im Verhältnis ein weit geringerer sein als in den natürlichen Kohlen.

Um die genannten und noch andere Fehlerquellen zu umgehen, die die Resultate früherer Versuche beeinflußt haben, wußte Bergius einen Weg zu finden, der es ermöglichte, die temperatursteigernde Wirkung der Reaktionswärme auszuschließen. Der Inkohlungsprozeß wurde ganz analog den natürlichen Verhältnissen in Gegenwart großer Mengen flüssigen Wassers

Digitized by Google

durchgeführt. Infolge seiner großen Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität verhindert das Wasser die Überhitzung der zerfallenden Moleküle. Es nimmt die Reaktionswärme auf und leitet sie ab, so daß in der gesamten reagierenden Masse eine gleichmäßige, von außen regulierbare und konstante Temperatur herrscht, die leicht einwandfrei gemessen werden kann. Diese Temperatur wurde so gewählt, daß sie ausreichte, um die Reaktionsgeschwindigkeit genügend zu steigern, aber immerhin so niedrig blieb, daß die Stabilitätsgrenze der „Kohle" nicht überschritten wurde. Für die Versuche wurde entweder Torf in frischem Zustand, d. h. mit etwa 85 % Wasser benutzt oder aber Zellulose, die mit dem Achtfachen ihres Gewichtes an Wasser versetzt wurde. Bergius füllte dann noch so viel Wasser in die zur Verwendung kommende Eisenbombe, daß die Substanz völlig bedeckt war. Die Bombe wurde zugeschraubt und im elektrischen Ofen bestimmte Zeit auf konstante Temperatur erhitzt. Die entstandene Kohle ließ sich als zusammenhängender poröser Zylinder aus dem umgebenden Wasser heben. Die Analysen haben ergeben, daß sie in ihrer Zusammensetzung den natürlichen Fettkohlen (vergl. S. 106) analog ist. Ihrem äußeren Aussehen nach ist die mit Hilfe dieses einfachen chemischen Inkohlungsprozesses gebildete Kohle der natürlichen nicht ganz gleich. Sie bildet nicht wie die Mehrzahl der Steinkohlen feste, relativ harte, glänzende Stücke, sie ist ja aber auch nicht durch mechanische Kraft zusammengedrückt worden.

Da aus dem Vergleich mehrerer solcher von Bergius ausgeführten Versuche unzweifelhaft hervorgeht,

Digitized by Google

daß, wie gesagt, die Temperatur auch auf den Zellulosezerfall, wie wir die Kohlenwerdung auch nennen können, reaktionsbeschleunigend wirkt, so lag es nahe, das Temperaturzeitgesetz dieser Reaktion aufzusuchen. Wenn man dieses Gesetz kennt, ist man imstande, für beliebige Temperaturen die Zeit zu berechnen, die notwendig ist, um einen bestimmten Inkohlungsgrad zu erreichen. Es ergibt sich hierbei, daß bei einer Temperatur von 10^0 $7{,}8 \cdot 10^6$, also 7 800 000 Jahre notwendig sind, wenn eine Steinkohle mit einem Kohlenstoffgehalt von 83 bis 84 % entstehen soll.

Die Bedingungen, die chemische Wirkung hohen Druckes zu beobachten, schuf Bergius dadurch, daß er die Kohle in einem Zylinder durch einen Stempel zusammenpreßte (vergl. auch S. 65). Zu diesem Zwecke wurde in einem Stahlblock eine etwa 5 cm lange zylindrische Bohrung von 1 cm Durchmesser angebracht, in die ein Stahlstempel eingepaßt war. Dieser Stempel wurde von oben durch eine kräftige Schraubenspindel in die Bohrung eingedrückt. In den Zylinder eingestampftes Material konnte einem sehr hohen Druck ausgesetzt werden, wenn man die Schraubenspindel durch einen Schraubenschlüssel mit langem Hebelarm kräftig anzog. Von diesen Versuchen sei hier nur einer wiedergegeben, da er ein interessantes Ergebnis gezeitigt hat. Der mit der Preßvorrichtung versehene Stahlblock, der eine Bohrung zur Temperaturmessung trug, wurde mit einer künstlichen, porösen Humuskohle beschickt, die ungefähr den höchsten durch normalen Inkohlungsprozeß erreichbaren Inkohlungsgrad besaß. Ihr Volumen war auf ein Viertel gebracht, wenn die

Digitized by Google

Schraubenspindel so stark wie irgend möglich angezogen war. Der ganze Apparat wurde dann im elektrischen Ofen acht Stunden auf 340° erhitzt. Bei der so erhaltenen Kohle war eine Zunahme von Kohlenstoff und eine Abnahme von Sauerstoff deutlich zu erkennen. Die äußere Beschaffenheit der Kohle hatte sich während der Pressung sehr wesentlich verändert. Die Produkte der früheren Versuche zerfielen durch leichten Druck in ein feines Pulver, die durch den letzten Versuch erhaltene Kohle aber ähnelte auch äußerlich der natürlichen vollkommen. Sie bestand aus harten Stücken mit teils ebenen, teils muscheligen, glänzenden Bruchflächen.

Der Zellulosezerfall ist nach alledem eine bei gewöhnlicher Temperatur freiwillig verlaufende Reaktion, bei der die Temperaturerhöhung im wesentlichen nur geschwindigkeitserhöhend wirkt.

Der letzte Versuch von Bergius zeigt auch, daß der Druck gleichfalls den Inkohlungsprozeß befördert. Bei niedriger Temperatur muß er aber sehr lange einwirken. Es ist also zu sagen: besonders starker Druck und große Hitze, die man so gern heranzieht, um den Prozeß der Kohlenwerdung zu erklären, sind für die Entstehung von natürlichen Kohlen unwesentlich, sie beschleunigen nur den Selbstzersetzungsprozeß.

Aus all den genannten Tatsachen und Versuchen können wir nun den Schluß ziehen, daß die Reihe der brennbaren Gesteine: Torf, Braunkohle, Steinkohle, Anthrazit nichts als die Stadien ein und desselben Prozesses sind, und nun erklärt es sich auch, woher es kommt, daß sich von gewissen dieser Gesteine niemals mit unbedingter Sicherheit sagen läßt, wohin sie zu

Digitized by Google

rechnen seien. Es gibt eben vom einen zum anderen alle Übergänge.

Trotzdem ist von anderer Seite gesagt worden, daß ja zwar der fortschreitende Inkohlungsprozeß in dieser Reihe unfehlbar zu erkennen sei, daß aber z. B. in der Braunkohle verholzende Stoffe bzw. deren Zerstörungsprodukte und Harze vorkämen, die in der Steinkohle nicht vorhanden seien. Und zwar seien dies Stoffe, die sich nicht so schnell weitgehend zersetzen könnten, die also in der Steinkohle noch vorhanden sein müßten, wenn die Steinkohle wirklich einst genau solche Braunkohle gewesen wäre, wie diese heutzutage ans Licht befördert wird. Dieser Unterschied ist jedoch nicht von prinzipieller Bedeutung. Er beruht darauf, daß die Pflanzen der Steinkohlenzeit in der Entwicklung wahrscheinlich noch nicht so weit fortgeschritten waren, Harze zu erzeugen, oder wenn sie das konnten, dann wohl nur in untergeordneter Weise. Gerade die Harze gehören ja aber zu denjenigen Produkten des Pflanzenkörpers, die sich am schwersten zersetzen (vergl. S. 57). So muß man allerdings annehmen, die Braunkohlen der Jetztzeit vermöchten niemals ganz genau dasselbe zu werden, was heute die Steinkohlen sind. Trotzdem dürfen wir behaupten, der weitere Prozeß ihrer Zersetzung werde dennoch zu Produkten führen, die wenigstens im Prinzip dasselbe sein werden wie die Steinkohle. Es ist ja bekannt, daß ein mit Harz imprägniertes Holz sich weit länger unzersetzt hält als ein unimprägniertes. Hiermit hängt es vielleicht zusammen, wenn die Braunkohlen (besser die Kohlen der Tertiärzeit) oft so wenig zersetzt sind. Das Holz, wie man es

Digitized by Google

in den Braunkohlenlagern findet, ist sogar oft nur angebräunt, so daß jedermann sofort seine Holznatur erkennt. Man bezeichnet solche noch fast unzersetzten Fossilien als subfossil (halbfossil). In der paläozoischen Steinkohle kann man dagegen das Holz nicht mehr so leicht nachweisen. Es konnte jedoch bisher, freilich mit einiger Mühe, in allen Fällen auch hier festgestellt werden. Es ist eben weitgehender zersetzt. Demzufolge nahm Johannes Walther an, die Pflanzen der Steinkohlenzeit wären überhaupt noch nicht so weit gewesen, Holz bilden zu können, und der Chemiker Donath aus Brünn hat sich bemüht, dies für die Technik auszunutzen, und unterscheidet Braunkohlen von Steinkohlen dadurch, daß er in den einen die Zersetzungsprodukte der verholzenden Stoffe nachweist, diese aber in den anderen nicht oder kaum vorfindet. Sie sind indessen auch hier vorhanden oder aber vorhanden gewesen. Allerdings sind sie durch das größere Alter der Kohlen, wie gesagt, schon sehr weitgehend zersetzt. Weithofer ist es denn auch gelungen, die Donathsche Anschauung durch geologische Mittel zu widerlegen. Es gibt alle möglichen Übergänge (Zersetzungsstufen) zwischen Steinkohle und Braunkohle. Ein grundsätzlicher Unterschied zwischen diesen Kohlenarten besteht also wenigstens im Hinblick auf die verholzenden Stoffe nicht. Dies konnte auch R. Potonié beweisen, und zwar auf folgende Art. Er stellte fest, daß sowohl in der Steinkohle als auch in der Braunkohle unzersetzte Zellulose auf mikroskopischem Wege nachgewiesen werden kann, aber nur da, wo sie durch gewisse imprägnierende Stoffe vor der Zersetzung geschützt

Digitized by Google

worden ist. Als solche imprägnierenden Stoffe kommen u. a. die Zersetzungsprodukte der verholzenden Stoffe in Frage, so daß also in diesem Fall der Nachweis der Zellulose ein indirekter Nachweis dieser Zersetzungsprodukte ist, der auch dann noch gelingt, wenn wegen zu weit gegangener Zersetzung die verholzenden Stoffe auf andere Weise nicht mehr nachgewiesen werden können.

Ein anderer Grund chemischer Verschiedenheiten der einzelnen Kohlensorten wird darin zu suchen sein, daß es, wie wir gesehen haben, sehr verschiedene Torfarten gibt, aus denen aber — ganz wie sich diese Torfsorten im Prinzip nicht unterscheiden — auch im Prinzip gleichartige Kohlen entstehen werden. Gibt es doch u. a. Sumpfmoor-, Standflachmoor-, Zwischenmoor- und Hochmoortorfe.

Die typischen Flachmoore haben wir als baumbestandene Gelände kennengelernt. Ebenso finden wir auch in den Kohlenlagern die Reste von Bäumen. So haben wir schon jetzt einen Hinweis auf die Flachmoornatur der uns fossil erhalten gebliebenen Moore.

Auch kann man nicht sagen, die Bedingungen, unter denen diese Torflager zu Kohle geworden sind, seien in allen Fällen ganz gleich gewesen. Wissen wir doch, daß Druck, Temperatur, Einwirkung der Atmosphärilien, Flüssigkeitsbewegung, sowie die Diffusionsvorgänge sehr variabel sein können, daß also somit das schließlich sich ergebende Produkt chemisch recht verschieden sein kann. Und so erklären sich die vielen Sorten von Kohlen, die aber für uns alle vereinbar sind, da sie alle aus Humus entstanden sind. Abgesehen natürlich von den Faulkohlen.

Digitized by Google

Es gibt Torf, der schon so braunkohlenähnlich ist, daß man ihn als Braunkohle bezeichnen würde, wenn er tertiären Alters wäre. Umgekehrt nannte man die Braunkohle des Tertiärs früher oft Turffa oder Turfa, also Torf. Weiter sehen wir im Tertiär schon glänzende Kohlen, die man von Steinkohlen nur schwer zu unterscheiden vermag. Diese sind also unter Bedingungen gewesen, die sie trotz des Harzgehaltes schon zu „Steinkohle" gemacht haben. Man nennt solche Kohlen gewöhnlich Pechkohlen oder Spiegelkohlen. Wenn der Glanz dieser Kohlen manchmal nur ein matter ist, so mag dies wieder auf den Harzgehalt zurückzuführen sein.

Die Unterscheidung in Mager- und Fettkohlen bezieht sich auf den Gasreichtum, namentlich auf den Sauerstoffreichtum der Fettkohlen. Die Bildung dieser Kohlenarten ist abhängig von der Bedeckung der Kohlenflöze: bei den Magerkohlen haben die Atmosphärilien leichteren Zutritt gehabt, wodurch sich die Kohle an Kohlenstoff anreicherte wegen der leichteren Möglichkeit, die Gase abzugeben, während bei den Fettkohlen die chemische Umbildung wegen besseren Abschlusses weit langsamer vor sich gegangen ist. Erst in zweiter Linie sind die beiden genannten Hauptkohlensorten in ihrem Werden von ihrem geologischen Alter abhängig. So sind die älteren Kohlen des Saar-Rheingebietes fette Kohlen, die jüngeren magere Kohlen; im Ruhrrevier jedoch sind im ganzen die älteren Kohlen die mageren und die jüngeren die fetten. In der Aachener Gegend kann man dagegen beobachten, daß ein und dasselbe Flöz in dem besser vor der Einwirkung der Atmosphärilien geschützten Teil fett, in dem schlechter geschützten hingegen mager ist.

Digitized by Google

Alle diese Unterschiede, die sich an Kohlen ein und derselben geologischen Epoche zeigen, sind schuld, wenn es unmöglich ist, das geologische Alter einer Kohle allein nach ihrer chemischen Zusammensetzung zu beurteilen. Früher hat man sich häufig täuschen lassen und die tertiären Schichten, in denen sich glänzende Kohlen fanden, mit denen der Steinkohlenzeit verwechselt. Konnte man sich aber schon vom rein geologischen Standpunkte aus klarmachen, wie solche Verschiedenheiten gleichaltriger Kohlen zustande kommen könnten, so ist dies jetzt durch die Versuche von Bergius auch vom chemischen Standpunkte aus nach gewissen Richtungen hin klar geworden. Er konnte durch Variation der Bedingungen, unter denen er seine künstliche Kohle entstehen ließ, schon allein aus ein und demselben Material die verschiedensten Kohlensorten erhalten.

Es gibt auch alle Übergänge vom Anthrazit zum Graphit, also zum reinen kristalliniſchen Kohlenstoff. Es wurde schon erwähnt, daß der Graphit durch Hitzewirkung entstehen dürfte. Der im Anthrazit noch vorhanden gewesene Wasserstoff und die Anteile von Stickstoff, die als wenig bedeutend noch nicht erwähnt worden sind, nehmen dann immer mehr ab.

Vor uns steht nun folgende Reihe, die trotz aller Schwankungen dem Prinzip durchaus entspricht.

Torfe	mit	50–58 %	Kohlenstoffgehalt
Braunkohlen	„	55–75 %	„
Schwarz-(Stein-)Kohlen	„	74–96 %	„
Anthrazit	„	90–95 %	„
Übergänge bis zum Graphit	„	100 %	„

Digitized by Google

Die Selbstzersetzung ist also im Prinzip eine Funktion der Zeit, denn die ältere Kohle ist im Durchschnitt stets die kohlenstoffreichere. Der Sauerstoffgehalt steigt von den ältesten zu den jüngsten Kohlen.

Es muß im Anschluß hieran noch einmal ganz besonders darauf hingewiesen werden, daß die Steinkohle also kein Kohlenstoff mit Beimengungen ist, sondern daß es sich in ihr in der Hauptsache um feste Kohlenwasserstoffverbindungen handelt. Dies muß deshalb immer wieder so ausdrücklich betont werden, weil man noch heute in Lehrbüchern der Chemie und auch anderswo die gegenteilige Meinung ausgesprochen findet. Schon die Tatsache der relativ leichten Schmelzbarkeit unterscheidet die Kohlen unbedingt vom Kohlenstoff (vergl. auch S. 20).

Man findet allerdings oft wirklichen Kohlenstoff in Form von Holzkohle in der Steinkohle. In den Braunkohlen ist das eventuell noch vorhandene Holz als solches ja ebenfalls noch deutlich erkennbar, aber nur halbinkohlt (dunkelgebräunt) erhalten; als Brennmaterial ist es ganz geringwertig, vielleicht weil ihm im Verlauf der chemischen Veränderungen ein Teil jener als Brennmaterial wertvollen Bestandteile entzogen worden ist, die mit zur Entstehung der das Holz einbettenden Braunkohle beitrugen. Die Substanz, welche die fertige Mineralkohle bildet, ist eben zum großen Teil ursprünglich in Lösung gewesen und hat sich aus dem Wasser wieder niedergeschlagen („Inkohlungsprozeß" Gümbels, vergl. S. 19 und auch S. 110 ff.). Man kann sich eine Anschauung davon verschaffen durch Beachtung der schon erwähnten hellkaffeebraunen Färbung, die zu-

Digitized by Google

zeiten die aus Moorrevieren kommenden Bäche zeigen, wie z. B. die Ilse im Harz oder die durch solche Bäche gespeisten Seen, wie der Loch-Lomond in Schottland. Auch die kohlig-schwarze Färbung der Brand- und Tonschiefer der Steinkohlenformation kommt meist durch ursprüngliche Imprägnation in Wasser gelöst gewesener humöser Stoffe zustande.

Man hat vielfach auszurechnen versucht, wieviel Pflanzenmaterial wohl nötig sein könnte, um ein Steinkohlenlager von dieser oder jener Mächtigkeit und Ausdehnung zu erzeugen. Bei den verschiedenen Bahnen aber, die die Zersetzung je nach den bestehenden Bedingungen einzuschlagen vermag, gehören solche Berechnungen zu den unfruchtbarsten Unternehmungen. In einzelnen Fällen, in denen sich feststellen ließ, wieviel Kohle ein bestimmtes Volumen von Pflanzensubstanz erzeugt hatte, fanden sich die verschiedensten Verhältnisse. Einmal war das Material auf $^1/_{90}$ zusammengeschrumpft, ein anderes Mal auf $^1/_{21}$. Wo es sehr gut abgeschlossen worden war, wie z. B. in feinen Tonschiefern, da scheint es nur auf $^1/_3$ oder $^1/_2$ zurückgegangen zu sein.

Man hat auch versucht, die Zahl der Bäume festzustellen, die eine bestimmte Menge von Steinkohlen erzeugen. Bei solchen Berechnungen hat man stets die Bäume unserer Gegend zugrunde gelegt, ohne zu bedenken, daß es schnellwachsende Tropenpflanzen sein könnten, die die Steinkohlen erzeugt haben. Weiter ist zu beachten, daß bei der Bildung des Torfs die krautigen Gewächse die Hauptrolle spielen.

Es sei noch einmal zusammenfassend hervorgehoben,

Digitized by Google

daß das Prinzipielle des Kohlenwerdungsprozesses die Selbstzersetzung ist, der jede Zellulose anheimfällt. Jeder Torf wird also bei genügendem Abschluß einmal zu Kohle werden, auch ohne daß Hitze mitwirkt. Diese wird den Prozeß nur beschleunigen, ist aber nicht Bedingung. Dasselbe gilt vom Druck, den man gelegentlich als wesentlich betrachtet hat. Eine prinzipielle Rolle ist also diesen beiden Faktoren nicht zuzuschreiben. Die Torflager beweisen ja am besten, wie sich der Inkohlungsprozeß ohne besondere Hitze und ohne besonderen Druck einleitet.

Was sind Erdbrände?

Allbekannt ist die Tatsache der Selbstentzündung von Pflanzenmassen. Man erinnere sich an die Selbstentzündung des Heus. Es ist versucht worden, den Inkohlungsvorgang hiermit in Verbindung zu bringen. Man glaubte, daß die Pflanzenmassen dadurch zu Kohle würden, daß eine in ihnen entstehende Hitze das Material etwa in ähnlicher Weise verkohle, wie dies in den Kohlenmeilern geschieht. Wenn wir uns daran erinnern, daß der durch Hitzewirkung bedingte Verkohlungsprozeß zu reinem Kohlenstoff führt, während wir doch den von uns zuerst in den Torflagern beobachteten, zu Kohlenwasserstoffen führenden Prozeß der Kohlenwerdung als einen Inkohlungsprozeß bezeichnet haben; wenn wir weiter bedenken, daß nirgends, wo Kohle entsteht, eine besondere Temperatursteigerung zu beobachten ist, dann werden wir zu dem Schluß kommen, die Kohlenwerdung habe mit der Selbsterhitzung nichts zu tun.

Digitized by Google

Die Selbsterhitzung des Heus wird übrigens durch die Lebenstätigkeit von Bakterien bewirkt.

Es gibt jedoch eine Tatsache, die man dazu ausnutzen könnte, die Selbsterhitzung als einen wesentlichen Faktor der Kohlenwerdung hinzustellen. Während für gewöhnlich die Temperatur der Erdkruste mit je 33 m, um die man sich dem Erdmittelpunkt nähert, um 1° zunimmt, ist diese Zunahme im Steinkohlengebirge eine größere. Wir kennen Fälle, in denen schon bei je 27 m eine Steigerung von 1° zu konstatieren war. Manchmal genügt es sogar, nur 17—18 m tiefer hinab zu gehen, um eine Steigerung von 1° festzustellen. Auch in Braunkohlenlagern können ähnliche Beobachtungen gemacht werden. Solche Temperatursteigerungen erweisen sich aber als sehr zweifelhaft, wo man in Bohrungen gewissenhafte Messungen anstellt. Der Grund dieser Erhitzung muß also wohl ein anderer sein. Der Sauerstoff der Luft, die in ein Bergwerk hineindringt und so mit den bisher abgeschlossen gewesenen Kohlen in Berührung kommt, verbindet sich mit diesen. Der Prozeß der flammenlosen Selbstverbrennung durch den eigenen Sauerstoff wird von einem Prozeß der regulären flammenlosen Verbrennung abgelöst, und dies bedingt die merkliche Temperatursteigerung, die soweit gehen kann, daß an die Luft beförderte Kohle sogar in Brand zu geraten vermag.

Schon im Altertum war dies bekannt. Theophrast erwähnt um 320 v. Chr., daß sich die Kohle zerschlagen, aufgehäuft und mit Wasser befeuchtet im Sonnenschein entzünde. Ebenso weiß der Techniker, daß das Lagern der Güte einer Kohle schadet, und zwar des-

Digitized by Google

halb, weil sie eben flammenlos verbrennt. Daher hat man vorgeschlagen, die Kohle unter Wasser aufzubewahren. In der Tat hält sie sich in solcher sauerstoffarmen Hülle vorzüglich.

Goethe schildert in „Dichtung und Wahrheit" einen „brennenden Berg" des Saarbrücker Steinkohlenreviers (2. Teil, 10. Buch). Diese Erscheinung hat einen starken Eindruck auf den Dichter gemacht, war doch damals in der industriearmen Zeit kaum irgendwo die Möglichkeit gegeben, „brennende Erde" zu sehen. Heute sind brennende Halden eine häufige Erscheinung; davon im folgenden. — Goethe schreibt: „Wir traten in eine Klamm und befanden uns in der Region des brennenden Berges. Ein starker Schwefelgeruch umzog uns; die eine Seite der Höhle war nahezu glühend, mit rötlichem weißgebrannten Stein bedeckt; ein dicker Dampf stieg aus den Klunsen hervor, und man fühlte die Hitze des Bodens auch durch die starken Sohlen." Dieser brennende Berg ist ursprünglich aus einer kleinen Kohlengräberei hervorgegangen und später, da er Alaunschiefer führt, eine Alaunschiefergrube gewesen. Es handelt sich um eine kleine künstliche Schlucht (eine Klamm), deren Aufschließung dem Sauerstoff der Luft direkten Zugang zu dem aufgeschlossenen Kaustobiolith gestattet. Die eine Wand stößt durch die unter der Oberfläche brennende Gesteinsmasse aus kleinen Spalten (Klunsen) zur Zeit wesentlich Wasserdampf etwas vermengt mit verbrannten Gasen aus. Die Oberfläche bis ziemlich tief hinein ist seit längerem bereits vollständig ausgebrannt, und die Erscheinung läßt von Jahrzehnt zu Jahrzehnt immer mehr nach, je tiefer sich

Digitized by Google

der Brand ins Innere von den Einwirkungen des Atmosphärischen zurückzieht.

Wo Steinkohlenbergbau getrieben wird, bietet sich häufig die Gelegenheit, „brennende Erde" zu sehen. Das die Steinkohlenlager umgebende Gestein, das aus einem Bergwerk ans Tageslicht befördert wird, pflegt sich zu großen Haufen anzusammeln, die man Bergehalden nennt. Solche Halden aus schwarzem Schiefer sind es, die häufig in Brand geraten. Dieser Schiefer ist von großen Mengen kohliger Substanz durchsetzt. Diese brennbare, fein verteilte Substanz verbrennt zunächst flammenlos, da die Halden nur locker aufgeschüttet werden und die Luft so überall Zutritt hat. Hierbei wird Wärme erzeugt. Auch das alles befeuchtende Regenwasser verbindet sich mit der feinverteilten Kohle und es entsteht hierbei gleichfalls Wärme. Da nun das Haldenmaterial die Wärme sehr schlecht ableitet, so muß sie sich, wie gering sie zunächst auch sei, innerhalb der Halde immer mehr steigern, so daß dort leicht die Entzündungstemperatur erreicht werden kann. Auch die Halden der Braunkohlenbergwerke können so in Brand geraten, wenn sie aus schlechter Braunkohle bestehen, die aus irgendwelchen Gründen mitgefördert worden ist. In dem Fall, von dem Goethe spricht, handelt es sich wie gesagt um ein brennbares Faulschlammgestein.

Die Faulschlammgesteine können übrigens durch diese Selbstentzündlichkeit der Technik Schwierigkeiten verursachen, wenn sie lose gepackt werden. Ein aus solchem Material locker aufgeschütteter Bahndamm entzündete sich gerade an der Stelle, wo der Bahnhof gebaut werden

Digitized by Google

sollte, und es entwickelte sich jener beizende Qualm, der allen brennenden Halden eigentümlich ist. Man kann sich die Schwierigkeiten vorstellen, die das Löschen solchen Erdbrandes verursacht.

Wenn sich im Innern einer Halde Gasmengen ansammeln, dann kommt es oft zu gefährlichen Explosionen.

Bei Décazeville in Frankreich, wo sich Steinkohlentagebauten befinden, d. h. wo die Steinkohle zum Teil ohne Tiefbauschächte gefördert wird, befinden sich brennende Flözstellen, die durch fortgesetztes Qualmen und Rauchen höchst lästig sind; nichtsdestoweniger wird in diesen Tagebauten ständig weiter gearbeitet.

Solche brennenden Läger sind in fast allen Kohlenrevieren bekannt geworden, in Amerika (Pennsylvanien), im Ruhrrevier, im Zwickauer Revier usw.

In Oberschlesien sah man an einer Stelle Dampf und Qualm dem Boden entsteigen; es handelte sich um eine Bruchlandstelle, unterhalb deren die durch den Bergbau geschaffenen Hohlräume zusammengestürzt waren. Die Reste von Steinkohle und die organisches Material enthaltenden Zwischenmittel waren in Brand geraten und ließen wie die Fumarolen vulkanischer Gebiete Rauch und Dampf durch die im Bruchlande gebildeten Spalten und Klüfte an die Oberfläche treten, wie beim „Brennenden Berg".

Geradezu gefürchtet sind diese Brände innerhalb der durch Tiefbau erschlossenen, noch in Betrieb befindlichen Kohlenlager. Es gibt hier kaum ein anderes Bekämpfungsmittel als eine sorgfältige Abmauerung des ganzen brennenden Teils. Versucht man dann nach

Digitized by Google

Jahren den aufgegebenen Teil der Grube wieder zu betreten, so kann vielleicht ein neuer Grubenbrand entstehen. So geht oft ein Teil des Kohlenlagers dem Bergbau ganz verloren.

Wie unbezwingbar das Feuer ist, wenn ein Kohlenlager in Brand gerät, das konnte man vor einigen Jahren auch in einer Berliner Gasanstalt erfahren, wo sich ein Kohlenstapel entzündete. Als man das Feuer mit Wasser löschen wollte, gab man ihm durch dieses nur neue Nahrung, denn das Wasser zersetzte sich bei der großen Hitze in seine Elemente Wasserstoff und Sauerstoff. Der Wasserstoff verbrannte seinerseits in dem Sauerstoff der Luft und der Sauerstoff des Wassers half die Kohle ebenfalls verbrennen. Der ganze Stapel mußte abgetragen werden. Die die Verbrennung beschleunigende Eigenschaft des Wassers machen sich bekanntlich z. B. die Lokomotivheizer zunutze, indem sie die Kohlen befeuchten.

Hier und dort hat man die Erdbrände technisch ausgenutzt. So sei nur von der interessanten Art der Ausnutzung berichtet, die dem brennenden Kohlenlager von Planitz bei Zwickau im sächsischen Steinkohlenrevier widerfahren ist. Schon im 16. Jahrhundert ist dieser Brand beobachtet worden, wie aus den Schriften des Mineralogen Georg Agricola hervorgeht, der um das Jahr 1490 in Glauchau geboren wurde. Die Kohlen brannten dort in einer Tiefe von 60 m, und alle Versuche, das Feuer zu löschen, blieben vergeblich. Schon von fern verriet die ungewöhnliche Temperatur des Erdbodens die Existenz des Naturphänomens, und der stellenweise aufsteigende beißende

Digitized by Google

Qualm zeigte den Ort an, unter dem die Flammen loderten. Die Wärme des Erdbodens war so beträchtlich, daß dort im Winter kein Schnee liegen blieb, und wenn man in die Tiefe zu steigen versuchte, wurde die Hitze schon nach kurzer Zeit so bedeutend, daß Eier, die man mit hinabnahm, hart wurden. Im Jahre 1837 kam der Chemiker Geitner auf den Gedanken, mit Hilfe der von der unterirdischen Glut erzeugten Wärme Gewächshäuser zu heizen. Der Plan gelang vollkommen, und schon nach kurzer Zeit konnte die Gärtnerei, die man auf dem feurigen Grunde angelegt hatte, die schönsten Südfrüchte liefern. In den sächsischen Zeitungen jener Zeit findet man Anzeigen der „Geitnerschen Treibgärtnerei" zu Planitz bei Zwickau, die ihre Bananen und Paradiesfeigen zu billigen Preisen anbietet. Von den Früchten rühmen die Inserate, daß sie ein „liebliches Arom" hätten und die ersten seien, die aus Deutschland in den Handel kämen. Die originelle Gärtnerei hat bis zum Jahre 1882 bestanden. In der Zwischenzeit war nämlich der Brand immer stärker zurückgegangen, bis sich am Ende der Betrieb gar nicht mehr lohnte. Heute ist das unterirdische Feuer bis auf ganz geringe Reste erloschen.

Die Bedingungen der Entstehung von Halden-, Erd- usw. Bränden sind noch nicht hinreichend befriedigend erforscht. Früher schrieb man die Selbstentzündung der Kohle dem vielfach darin enthaltenen Schwefelkies zu, jenem gelben, aus Schwefel und Eisen gebildeten Eisenmineral, da man beobachten kann, daß es sich an feuchter Luft ziemlich rasch zersetzt. Heutzutage gibt man die Schuld vorwiegend der in der Stein-

Digitized by Google

kohle sehr häufigen Holzkohle. Diese mineralische Holzkohle hat die gleichen Eigenschaften und das gleiche Aussehen wie die künstliche, durch Meilerbrand gewonnene; sie ist demgemäß sehr porös. Sie gestattet also dem Luftsauerstoff eine weitgehende Zirkulation in der Steinkohle und hat wie die künstliche Holzkohle die Eigenschaft, wie ein Platinschwamm Gase in sich zu verdichten, wodurch die Wirkung des Sauerstoffes noch lebhafter werden muß. Es gibt Steinkohlenlager, die zum großen Teil aus solcher Holzkohle (Rußkohle) bestehen, wie das „Rußkohlenflöz" in Zwickau; auch bei Commentry in Frankreich befindet sich ein solches Lager.

Zu den Erdbränden gehören auch die Moorbrände. In den meisten Fällen werden solche künstlich hervorgerufen: man setzt die oberste Schicht des Moors in Brand, der sich oft weithin ausdehnt und dessen Rauch als „Höhenrauch" oft noch an Hunderte von Kilometern von der Brandstelle entfernten Orten wahrnehmbar ist. Man sucht durch die sich bildende Asche den Moorboden für die Kultur brauchbar zu machen, denn an sich ist der Moorboden — wenigstens die Böden, um die es sich dabei handelt — wie wir früher gesehen haben, sehr nährstoffarm.

Es ist vorgekommen, daß Moorbrände bei besonderen Witterungsverhältnissen weiter und tiefer um sich griffen, als beabsichtigt war; so ist im Herbst 1903 das sehr ausgedehnte Ecseder Moor in Ungarn zum großen Teil vollständig ausgebrannt und hat nur Asche in Pulver- und Schlackenform hinterlassen. Auch auf natürlichem Wege — etwa durch Blitzzündung — kann der Torfboden der Moore in Brand geraten und in

Digitized by Google

trockenen Zeiten tief und langdauernd ausbrennen. Diese Möglichkeit ist besonders in unserer heutigen Zeit gegeben, in der die Moore aus Kulturrücksichten weitgehend entwässert und demgemäß gelegentlich ausgetrocknet werden; aber es sind auch ohne menschliche Mitwirkung Moorbrände vorgekommen, von denen Funde von Holzkohlenstücken in älterem Torfe Kunde geben, während Asche sich seltener findet; sie wird von der späteren Vegetation wieder aufgebraucht, zum Teil auch vom Winde leichter verweht, zum anderen Teil durch das Wasser aufgelöst und fortgeführt.

Die Braunkohle wurde vor etwa hundert Jahren im Revier westlich von Köln wesentlich nur benutzt, um sie zur Aschengewinnung und zur Verwertung als Düngemittel zu verbrennen. Wie hat sich doch mit der Zeit die Wertschätzung und Verwendung der Naturprodukte geändert! Damals nannte der Pariser Professor der Geologie Faujas-Saint-Fond (1742—1819) die dortige Braunkohle „ein trauriges Brennmaterial", das nur jene verwenden, die wirklich nichts anderes zur Verfügung haben.

Von den Moorbränden sind natürliche Waldbrände insofern nur schwer zu trennen, als ein Teil unserer Moore Waldmoore (Moorbrücher) sind. Zwar werden größere Brände in Moorbrüchern mit reinem Laubholzbestand, z. B. in Birken- oder Erlenbrüchern, nur ausnahmsweise vorkommen, in um so größerer Ausdehnung aber gelegentlich bei Nadelholz-(Sumpfzypressen-, Kiefern- oder Fichten-)Bestand, wo das Feuer wegen des Harzreichtums besonders günstige Nahrung findet. Solche Waldbrände können durch Blitzschlag entstehen

Digitized by Google

und haben sicherlich früher, z. B. in den Wäldern der Braunkohlenzeit oder Bernsteinzeit, großen Umfang erreicht. Als Zeugen solcher Brände finden wir auch in der Braunkohle hier und da Holzkohle, die sich — wie schon oben angedeutet — infolge ihrer außerordentlich großen chemischen Widerstandsfähigkeit selbst seit der Steinkohlenzeit unverändert erhielt. Gelegentlich sind in der Braunkohle auch Aschenreste der verbrannten Vegetation zu beobachten.

Außerdem können Waldbrände durch glühende Lavaströme entstehen; wo Lavaströme ein bewaldetes Gebiet erreichten, sind sie auch oft genug so entstanden. Im Saarbrückenschen hat ein Erguß vulkanischen Gesteins ein Steinkohlenlager teilweise verkokt, und Ähnliches ist aus Niederschlesien und anderen Revieren bekannt. Berühmt ist die anthrazitische Stengelkohle vom Meißner in Hessen, wo ein Basalterguß das dortige Braunkohlenlager teilweise in steinkohlenartige feste Kokskohle umwandelte.

Wegen des allgemeinen Interesses, das die „Erdbrände" beanspruchen, haben wir uns etwas länger dabei aufgehalten.

Eine Tatsache, die sich mit unseren Ansichten zunächst nicht zu vereinbaren scheint, ist die, daß die Kohlen älterer geologischer Perioden meist weniger Asche zurücklassen als die der jüngeren. Von vornherein würden wir angenommen haben, der Aschengehalt müsse mit dem zunehmenden Alter einer Kohle gleichfalls zunehmen, da doch ihre Masse immer geringer wird und die Asche unverändert bleibt. Aber auch beim Torf beobachten wir gelegentlich dieselbe Tatsache. Er enthält oft weniger Asche als die Pflanzen, aus denen er ent-

Digitized by Google

stand. Wir kommen also zu der Annahme, daß sich die Asche in dem das Torflager erfüllenden Wasser löst und durch dessen geringe Zirkulation fortgeführt wird. Es ist ja aber gar nicht einmal nötig, der Zirkulation des Wassers diese Rolle zu übertragen, wissen wir doch, daß die Diffusion, die wir schon zur Erklärung gewisser Petrolansammlungen zu Hilfe nahmen, ein wichtiger geologischer Faktor ist (vergl. S. 84). Menschenleichen, die man infolge einer grausamen Justiz in Mooren auffand, besaßen in ihren Knochen keine festen Kalkverbindungen mehr. Das saure Humuswasser hatte sie herausgelöst, so daß die einstmals harten Knochen völlig biegsam geworden waren. Dies beweist deutlich, wie sehr die Diffusion zu wirken vermag.

Was sind bodeneigene und bodenfremde Kohlenlager?

Manche der Vergleichspunkte, die uns bisher zwischen den Kohlenlagern und den Torflagern klar geworden sind, haben uns gezeigt, daß wohl die meisten Kohlenlager in demselben Sinne wie die Torflager bodeneigen sind. Wenn wir von den Bewegungen der Erdkruste absehen, so heißt dies: wo wir die Kohlenlager heute finden, da sind sie meist auch entstanden.

Man hat aquatische und terrestrische Autochthonie zu unterscheiden; die erstere ist eine autochthone Sedimentierung, d. h. ein an Ort und Stelle der Entstehung des Materials (des Lebensbezirks der Organismen) erfolgter Niederschlag. Das Sapropel ist ja in dieser Weise entstanden. Der zweiten entspricht die Entstehungsweise des Torfs.

Digitized by Google

Das Material, aus dem die Kohlen hervorgegangen sind, ist also nicht vom Wasser an die heutige Fundstelle transportiert worden, etwa wie dies mit den Anhäufungen von Holzresten der Fall ist, die gelegentlich am Meeresstrande vorkommen. Genau wie heute solche bodenfremden Ablagerungen gegenüber den weit ausgedehnten bodeneigenen keine rechte Rolle spielen, so war es wohl auch in der Vorzeit.

Ein Gestein, das sich aus dem Wasser abgesetzt hat, pflegt geschichtet zu sein. Dies gibt sich, wie beim Schiefer, dadurch zu erkennen, daß es leicht den Schichtungsflächen folgend zerspringt. Da nun die Steinkohlen gleichfalls diese Eigenschaft haben, so hielt man es für erwiesen, daß ihre Urmaterialien vom Wasser zusammengeschwemmt und also schichtweise abgelagert worden seien. Dies würde nahelegen, daß die Steinkohle ein bodenfremdes Material ist. Wir können aber dagegen einwenden, daß Moortorf, von dem wir doch ganz genau wissen, daß er an Ort und Stelle entstanden ist, gleichfalls eine „Schichtung" zeigt. Diese „Schichtung" wird aber durch den Druck bedingt, den die oberen Massen auf die unteren ausüben. Wenn man Torf künstlich einem sehr hohen Druck aussetzt, so wird die senkrecht zum Druck erfolgte Schieferung noch deutlicher.

Wir sehen, daß manche Steinkohlenlager eine ganz gewaltige Ausdehnung haben. In Amerika kennt man solche von Hunderten von Quadratmeilen Ausdehnung. Wenn wir die einheitliche Beschaffenheit so großer Kohlenlager mit der durchsetzten Struktur derjenigen Pflanzenablagerungen vergleichen, die wir heutzutage

Digitized by Google

durch Ströme usw. zusammengeschwemmt sehen, dann wird uns ganz klar, daß diese kleinen unregelmäßigen Vorkommnisse nicht mit jenen großzügigen der Steinkohlenzeit verglichen werden können. Mächtige Torflager halten schon viel eher einen Vergleich aus.

Häufig findet man in Steinkohlenlagern fossile Wurzeln und andere unterirdische Organe, die das Kohlenlager ganz in derselben Weise durchweben wie die Wurzeln heutiger Pflanzen den Boden, in dem sie gewachsen sind. Betrachtet man das Gestein, auf dem ein Kohlenflöz lagert, so findet man in diesem Liegenden die unterirdischen Organe derjenigen Pflanzen, die die Torfbildung eingeleitet haben. Ist das Gestein nicht durch eine nach der Entstehung des Torflagers stattgehabte Erdbewegung aus seiner ursprünglichen Lage gebracht worden, so erblickt man oft parallel zur Oberfläche verlaufende, häufig noch zylindrische stengel- oder stammförmige Organe, die sich mehrmals gabeln. Man nennt sie Stigmarien (s. Tafel I). Es sind dies die unterirdischen Organe von Bäumen der zu den Lykopodialen gehörenden Lepidophyten: Lepidodendren (Schuppenbäume) und Sigillarien (Siegelbäume). Diese Stigmarien haben feinere Anhängsel, die nach allen Seiten senkrecht von der horizontal verlaufenden Stigmarie abgehen. Man hat also den unbedingten Eindruck, diese unterirdischen Organe eines Baumes seien einstmals an derselben Stelle gewachsen, wo wir sie heute noch vorfinden. Wie sollten sonst die immerhin zarten Anhängsel der Stigmarien nach allen Seiten hin ausstrahlen? Ganz unerklärlich wird diese Erscheinung unter der Annahme, die Steinkohlenlager seien aus

Digitized by Google

zusammengeschwemmten Pflanzenresten hervorgegangen. Untersucht man den Bau der Stigmaria-Anhängsel und denkt man sich dann eine Stigmarie noch lebend aus dem einst feuchten und weichen Untergrund herausgezogen, so wird man sich die Anhängsel wie nasse Lappen herabhängend vorstellen müssen, ganz wie dies mit allen pflanzlichen Geweben der Fall ist, die wie die Stigmaria-Anhängsel keine Skelettgewebe enthalten. In welcher Weise solche Stigmarien also wieder hätten eingebettet werden können, nachdem sie einmal vom Wasser transportiert worden waren, kann man sich leicht vorstellen. Sicher nicht so, wie man sie im Liegenden der Kohlenflöze vorfindet.

Wir wollen nun den von den Stigmarien durchwobenen Schieferton genauer mit einer Erscheinung vergleichen, wie wir sie überall da beobachten können, wo (vielleicht beim Bau eines Kanals) ein Torflager durchschnitten wird und wo wir den unter dem Torf befindlichen Boden, das Liegende des Torfs, untersuchen können. Hier müssen ja ebenfalls diejenigen Pflanzen mit ihren Wurzeln eingedrungen sein, die einst die Moorbildung eingeleitet haben, und wenn wir uns erinnern, welche Pflanzen dies z. B. am Kurischen Haff waren, so fällt uns ein, daß das Schilfrohr dort eine ganz bedeutende Rolle spielte. Steigen wir nun in den Kanal hinab und betrachten wir jene Wand, an der wir ein kleines Torflager durchschnitten sehen. Wir erblicken in dem Boden unterhalb des Lagers mehr oder minder horizontal verlaufende unterirdische Stengelorgane, die dem Schilf angehören, und von diesen Stengelorganen gehen feine, scheinbar noch lebende Wurzeln aus, die

Digitized by Google

ganz ähnlich wie die Stigmaria-Anhängsel den Boden in einer Weise durchweben, die uns hier nun ganz und gar davon überzeugt, das Schilf sei einst in genau demselben Boden gewachsen, in dem wir jetzt seine unterirdischen Organe finden.

Die Stigmariaböden, die die Engländer als Underclay bezeichnen, finden sich unter fast allen Steinkohlenlagern. Im Gegensatz zu anderen Schiefertonen spalten sie nicht nach der Schichtungsfläche, denn die Stigmaria-Anhängsel haben ja den Boden nach allen Richtungen hin „verfilzt", so daß nur holprige Bruchflächen entstehen.

Es ist, wie schon mehrmals bemerkt, in der Steinkohlenzeit ebenso wie heute vorgekommen, daß ein Moor überschwemmt wurde. So können Pflanzenreste, z. B. Baumstämme hineintransportiert und abgelagert worden sein, aber dieser Transport wird kaum wesentlich zur Anhäufung des Pflanzenmaterials beigetragen haben. So finden sich denn in Torflagern wie in Kohlenlagern gelegentlich liegende Stämme, manchmal sogar mehrere dicht beieinander; dies ist dann nur ein Beweis dafür, daß eben die Überschwemmung eine recht kräftige war. Man versteht, wie jemand, der sich die Gesamtheit der Erscheinungen noch nicht vergegenwärtigt hat, auf Grund der letzteren Tatsache die Kohlenlager für bodenfremde Bildungen halten kann.

In Steinkohlen- oder Braunkohlentagebauten werden die Gesteine gleichmäßig abgetragen, so daß derjenige, der auf die geschaffene Ebene tritt, den Eindruck hat, er stände in einem abgeholzten Walde. Ganz dieselbe Erscheinung kann man auch in gewissen Torf-

Digitized by Google

schichten beobachten (Fig. 10 und Tafel II). — Man befindet sich in solchen Fällen also auf einer der Flächen, auf denen einst die Vegetation des Waldmoors grünte. Die Bäume, die sich auf dieser Ebene befanden, mußten einer neuen Generation weichen, die auf dem angehöhten Torf emporgewachsen ist. Sie sind gestorben, wohl umgebrochen und dann verwest, ehe sie vom Torf

Fig. 10. Aufgedeckter Waldboden des produktiven Karbons mit Baumstümpfen von Lepidophyten. Viktoriapark bei Whiteinch bei Glasgow.

ganz und gar eingebettet und so von der Luft abgeschlossen werden konnten.

So gibt vielleicht die Höhe der Baumstümpfe die Höhe des Wasserstandes an, der durchschnittlich in dem Moor geherrscht hat. Die oberen Stammteile waren der zerstörenden Wirkung der Luft ausgesetzt, die unteren, im Wasser befindlichen fielen dagegen dem langsamen Fäulnisprozeß anheim. Da, wo ein Moor

Digitized by Google

nicht vom Wasser überschwemmt war, läßt die Höhe der Baumstümpfe erkennen, wie weit sich der Torf anhöhen mußte, bis er den Baum erstickte und seine oberen Partien der Verwesung auslieferte. Es ist ja bekannt, daß ein Baum eingehen muß, dessen Fuß — vielleicht bei der Anhöhung einer Straße — allzu hoch mit Erde umschüttet wird. Natürlich findet man trotzdem in den Kohlenlagern zuweilen vollständige umgebrochene Baumriesen, die durch Wasser oder Torf rechtzeitig vom Luftsauerstoff abgeschlossen und so erhalten wurden.

Man kann in Torf- und Kohlenlagern nacheinander oft viele solche Waldböden aufdecken. In Whiteinch bei Glasgow hat man einen derartigen nur noch aus den Baumstümpfen und deren Anhangsorganen bestehenden Steinkohlenwald als Naturdenkmal erhalten. Desgleichen sind im Braunkohlenlager des Senftenberger Reviers solche Waldböden mit Baumstümpfen in vorzüglicher Ausbildung vorhanden. Es gibt dort Stämme von ganz gewaltiger Dicke, die in allen Teilen des Lagers zu finden sind. Das Braunkohlenlager ist also aus einem Waldmoor entstanden, wie solche heute noch im atlantischen Nordamerika vorkommen, denn die Baumstümpfe gehören vorwiegend der Sumpfzypresse (Taxodium distichum) an, die in jenen amerikanischen Swamps der Charakterbaum ist. Neuerdings ist auf Anregung von Gothan durch Kräusel festgestellt worden, daß neben dem genannten Taxodium auch Sequoia Langsdorfi eine bedeutende Rolle spielt, und zwar namentlich im Hangenden der Flöze. Kräusel schiebt das auf eine Klimaschwankung, denn Sequoia

Digitized by Google

liebt mehr als Taxodium trockene Standorte. R. Potonié möchte lieber annehmen, daß sich Sequoia wegen der Erhebung des Torfs über den Grundwasserspiegel in den Vordergrund drängte. Die Braunkohlenmoore wären demnach zum mindesten nicht in allen Teilen typische Swamps gewesen. Auch in den amerikanischen Swamps finden sich angeblich viele Generationen von Taxodium-Wäldern übereinander. Das Senftenberger Braunkohlenlager ist also etwas sehr Ähnliches wie die in Rede stehenden Torflager, nur mit dem Unterschiede, daß der Torf zu Braunkohle wurde. Die Verteilung der im Braunkohlenlager befindlichen Baumstümpfe ist dieselbe wie in einem Urwald. Sie ist bedingt durch den Wettkampf, der zwischen den Individuen stattfindet.

Die Stammstümpfe der Sumpfzypressen in den ausgedehnten Tagebauen des Senftenberger Reviers lenken also, wenn wir zwischen ihnen dahinwandern, unsere Gedanken rückwärts in eine Zeit, da noch des Menschen Fuß diese Wälder nicht betreten konnte — sind doch Spuren, die auf ein Vorhandensein des Menschen zur mittleren Tertiärzeit hinweisen, bis jetzt nicht bekannt.

Die Baumstümpfe der Braunkohlenlager weichen in ihrer Beschaffenheit, wie schon gesagt, nicht viel von denjenigen ab, die man in den Torflagern findet. In den Schiefern und Sandsteinen der Steinkohlenzeit sind dagegen die Baumstümpfe zu Steinkernen geworden.

Die Entstehung der Steinkerne ist folgende. Verwest ein eingebetteter Pflanzenteil ohne Hinterlassung von Substanz, so erhalten wir einen Hohlraum, dessen Wand der Oberfläche des eingehüllt gewesenen Pflan-

Digitized by Google

zenrestes entspricht, ganz wie auch bei der überwiegenden Zahl der pflanzlichen „Einschlüsse“ in Bernstein (vergl. S. 193). Wird, wie das meistens der Fall ist, der Hohlraum nachträglich von erhärtendem Schlamm, Sand usw. ausgefüllt, so erhalten wir eine Nachbildung des ursprünglich eingebettet gewesenen Pflanzenrestes, einen Steinkern, dessen Außenfläche das positive Bild des ursprünglichen Pflanzenrestes wiedergibt. Die meisten Steinkerne sind durch Ausfüllung von in der Pflanze befindlichen oder sich dort durch Verwesung bildenden Hohlräumen entstanden, und daran sind gewöhnlich noch kohlige Reste erhalten geblieben; namentlich sind es die chemisch widerstandsfähigeren Hautgewebe, die noch als Kohlenrinde vorhanden sind, und die Steinkerne (die dann natürlich verloren gegangenen Innenteilen der Pflanzen entsprechen), zeigen demgemäß auf ihren Oberflächen die Skulpturen innerer Flächen. Steinkerne treten begreiflicherweise vorwiegend als Erhaltungszustände dickerer Organteile auf.

Da die Steinkerne von Baumstümpfen, denen der Bergmann häufig im Karbon begegnet, recht hinderlich und daher auffällig sind, so haben sie mancherlei bezeichnende Namen erhalten. In England heißen sie Kohlenpfeifen (coal-pipes), in Frankreich nennt man sie cloches, da sie häufig die Form von Kirchenglocken haben. Bei uns aber hat man ihnen u. a. den charakteristischen Namen Sargdeckel gegeben, denn es kann vorkommen, daß sie dem arbeitenden Bergmann auf den Kopf fallen und ihn unter sich begraben. Da der Steinkern eines Baumstumpfes innerhalb der

Digitized by Google

lockeren inkohlten Rinde eine zusammenhängende, feste und schwere Masse bildet, ist solch ein Unglück sehr leicht möglich.

Alle bisher hervorgehobenen Punkte zeigen deutlich, daß die meisten Kohlenlager bodeneigene Bildungen sind. Damit soll jedoch keineswegs gesagt sein, daß nicht hier und dort kleine Kohlenlager vorhanden sein können, die aus zusammengeschwemmtem Material entstanden sind.

Wo wir aber in der Bedeckung von Kohlenflözen, z. B. in Tongesteinen eingebettet, schöne (inkohlte) Farnwedel finden, ausgebreitet wie im Herbarium, kann es sich nur um an Ort und Stelle oder unweit der Heimatstelle eingebettete Reste handeln. Denn bei einem Transport von Pflanzenteilen findet eine Zerkleinerung zu natürlichem Häcksel oder mindestens eine Deformierung statt, die durch die mechanischen Wirkungen des Anstoßens an Ufer und Küsten, sowie durch die Wasser-(Wellen-)Bewegung verursacht werden. Als Häcksel bezeichnen wir dabei das zerkleinerte Material, und zwar besitzen die einzelnen Stücke untereinander etwa gleiche Größe: sie sind kleiner, wenn die mechanischen Eingriffe ständiger wirken konnten, größer bei geringerer Inanspruchnahme. Die zahlreichen Baumstämme z. B., die, beim Transport ihrer Kronen und Wurzeln beraubt, an den Strand der Meere geworfen werden (z. B. Baumstämme aus Mittelamerika, die der Golfstrom an den Küsten Nordeuropas absetzt), gehören im geologischen Sinne zum Häcksel.

Zur Erzeugung und Erhaltung von Humuslagern durch solches Driftmaterial sind aber die Transport-

Digitized by Google

wege und die Ablagerungsstellen zu bewegt: gewöhnlich wird mit der Zeit alles vollständig zersetzt. Nur gelegentlich finden hinreichend ständige und mächtige Anhäufungen an ruhigeren Stellen statt, wo dann ein Humuslager entsteht. Dies ist z. B. der Fall am Nordostufer des Moyie-Sees in Britisch-Kolumbien. Dort ist ein in der angedeuteten Weise entstandener pulveriger Humus in ziemlich dicker Lage vorhanden; er ist von schwarzer Farbe und durch das zerfallende Holz und die Rindenbestandteile etwa von der Beschaffenheit des Holzmulms auf alten Holzhöfen. Als ich dort war, wurde das aufs Land geworfene Driftholz gerade in mächtigen Haufen verbrannt, weil man an dieser Stelle die ebene Landfläche als Weide gewinnen wollte. Außer Holz kommen dort auch sonst (an Volumen freilich untergeordnet) gedriftete Blätter und Sprosse, besonders von Wasserpflanzen wie Nymphaeazeen, Potamogeten, sowie Früchte, Samen u. dergl. hinzu.

So hat man denn beispielsweise dort in Kanada bei der Fülle des vorhandenen Holzes häufiger Gelegenheit, kaustobiolithische Ablagerungen zu finden, die durch Driftung von Gehölzteilen entstanden sind. Man braucht nur einmal einen durch waldreiche Gegenden fließenden Strom in einem noch weniger kultivierten Gebiet streckenweise zu befahren, z. B. den Kolumbia-Fluß in Britisch-Kolumbien, um eine Vorstellung von der großen Menge von Baumstämmen zu gewinnen, die ständig, namentlich von Steilufern aus, bei deren Aufarbeitung durch den Fluß ins Wasser gelangen und dann in Etappen gedriftet werden. So sind denn überall unglaubliche Mengen von Driftholz vor-

Digitized by Google

handen, die man am Ufer, namentlich im Gebiet der Kordilleren, aber auch in Ostkanada an den Ufern der Flüsse und Seen angeschwemmt findet, zuweilen so zu „Holzbergen" angehäuft, daß gelegentlich (wie ich das im Gebiet der Rocky-Mountains in Britisch-Kolumbien sah) das fließende Wasser eine Strecke weit vollkommen den Blicken entschwindet. Wenn verschwemmte Baumstämme mit schwerem, vielleicht durch umklammerte Steine belastetem Wurzelwerk in tiefere Wasser gelangen, so sinken sie schließlich gern mit dem schwereren Teil unter und zeigen, schräg aufwärtsstrebend, die Richtung des fließenden Wassers an. Solche „Lanzen" (snags), die bei hohem Wasserstand ganz bedeckt sind und dann der Schiffahrt gefährlich werden können (wie das aus älterer Zeit u. a. vom Mississippi her bekannt ist), ragten im oberen Arrow-See (einer breiten Stelle des Columbia-Flusses) bei Arrowhead in großer Zahl aus dem Wasserspiegel hervor.

Warum sollte nicht auch einmal aus solchen Ablagerungen etwas Kohle entstehen?

Es sei auch noch an die Tangablagerungen erinnert, die das Meer an manchen Küsten schafft. Wenn aber auch einmal auf diese Weise kleine Kohlenschichten entstehen sollten, so entspricht dies jedenfalls noch ganz und gar nicht der Mohrschen Tangtheorie.

Mohr denkt sich, daß die vielen Tange, die in der Nähe des Strandes losgerissen und über das Meer geführt werden, schließlich untersinken und mächtige Lager bilden müssen. In der Tat sind ja die Tangmassen, die über das Meer geführt werden, recht be-

Digitized by Google

deutend. Kolumbus erkannte an den sich ständig vermehrenden Tangen, daß er sich dem Lande nähere. Man nennt seitdem einen gewissen Teil des Atlantischen Ozeans nach der Tangart Sargassomeer. Später haben viele Reisende die interessante Tatsache beschrieben. Sie berichten einstimmig, wie sie nach langer Fahrt durch abwechslungslose blaue Fluten plötzlich in Gewässer gekommen seien, in denen große Mengen losgerissener Tange umherschwammen.

Man hat seit Mohr den Untergrund des Meeres vielfach durch Dretschungen untersucht, niemals aber etwas von den Tangablagerungen gefunden, die dieser bedeutende Chemiker vermutete. Aber das Meer ist ja auch stets bewegt, ganz anders als die ruhigen Gewässer, in denen sich Faulschlammablagerungen bilden. Ein bewegtes Wasser löst aber an seiner Oberfläche so viel Sauerstoff, daß alle toten und zersetzbaren organischen Reste bald durch Verwesung verschwinden müssen. Und das Meer ist nun stellenweise sogar so tief, daß viele organische Reste schon vollständig aufgelöst sind, ehe sie den Grund erreicht haben. Dies gilt namentlich von den mikroskopisch kleinen Organismen, die nur ganz langsam sinken können, zumal sie das spezifische Gewicht des Wassers haben.

Es gibt nun noch eine andere Sorte bodenfremder Kohle, die vielleicht häufiger vorkommt als die aus zusammengeschwemmtem Pflanzenmaterial entstandene. Das Humusgestein kann auch noch transportiert werden, wenn es bereits zu Torf oder zu Kohle geworden ist. Wir sprechen im letzteren Falle von einer sekundär-

Digitized by Google

bodenfremden, wissenschaftlich ausgedrückt von einer sekundär-allochthonen Kohle.

Es kommt vor, daß ein Wasser durch ein Torflager fließt, gewisse Teile des Torfs mitnimmt und sie anderswo wieder absetzt. Wir erhalten so einen sekundär-bodenfremden Torf. Auf dieselbe Weise können sekundär-bodenfremde Braunkohlen und Steinkohlen entstehen. Solche Kohlen geben sich dann dadurch zu erkennen, daß sie beim „Anbruch" durch die Haue des Bergmanns in Brocken herabrieseln. Die niederrheinischen Bergleute nennen solche Braunkohle deshalb Feinkohle oder Rieselkohle.

Die bodeneigene Kohle dagegen zerfällt durch die Haue in große Stücke, deren Form mehr oder minder durch die Art des Anbruchs bestimmt ist. Die Kohle hält eben mehr zusammen. Man nennt sie Knabben- oder Stückkohle.

Es gibt aber auch Rieselkohlen, die nicht bodenfremd sind. Zerklüftet z. B. eine Knabbenkohle durch die während des Inkohlungsprozesses stattfindende Reduktion, so zerfällt sie gleichfalls in viele kleine Stücke. Betrachtet man jedoch solche Kohle an Ort und Stelle, im „Stoß", wie der Bergmann sich ausdrückt, so sieht man, wie die einzelnen, durch die Klüfte voneinander getrennten Stückchen ganz genau mosaikartig aneinanderpassen. Dies kann natürlich bei einer durch Transport entstandenen Rieselkohle nicht der Fall sein. Hier erblickt man ein Kohlenpulver, in dem sich die einzelnen Kohlenstückchen eingebettet finden. Beim Anhauen erhalten wir daher nicht wie bei der bodeneigenen Rieselkohle nur kleine Stücke, sondern wir sehen

Digitized by Google

auch Kohlenstaub und Kohlenschutt herabfallen. Stücke, die die Geröllform zeigen, wie sie z. B. den Kieseln eines Baches eigen ist, finden sich jedoch nur selten. Wo man sie antrifft, sind es meist festere Stückchen, die aus Holz bestehen. Gerölle aus Kohle werden sich deshalb kaum bilden, weil die Kohle zu wenig haltbar ist. Ein Geröll aus Kohle würde beim Transport immer wieder zerbrechen und so von neuem scharfkantig werden. Daher auch die Menge der Staub- und Krümelkohle in den bodenfremden Lagern.

Den Leser werden diese Spezialitäten erst dann wirklich fesseln, wenn er erfährt, daß er solche bodenfremde Braunkohle unter verschiedenen Namen aus dem Farbenhandel kennt. Es handelt sich in diesen Farben um äußerst feine, durch Wasser ausgeschlämmte Braunkohle. Dieses feine Material konnte länger als das grobe vom fließenden Wasser getragen werden und wurde erst wieder abgesetzt, wo das Wasser ganz langsam floß.

Was die Natur in diesem Falle dem Menschen durch Ausschlämmen wegnahm, das hat man in anderen Fällen durch Zerreiben erdiger Braunkohle selbst übernommen. Jedem Maler ist solches Material unter dem Namen Umbra bekannt. Es sei besonders an die „Kölnische Umbra" oder das „Kölner Braun" erinnert. Der Kasseler Braunkohle entstammt das „Kasseler Braun". Besonders gern wurden solche Braunkohlen als Farbe verwandt, wenn sie Eisenoxyd enthielten und dadurch mehr rotbraun aussahen.

Zusammenfassend wäre zu sagen: ebenso wie heute die ganz überwältigende Menge von Humuslagern

Digitized by Google

bodeneigen (autochthon) ist, so war es auch in der geologischen Vorzeit die Norm.

Fremdartige Bildungen der Kohlenlager.

In den Steinkohlenlagern finden sich unter anderem auch Gerölle. Da die Gerölle aber nur dadurch entstehen können, daß sie mit gleichhartem Material zusammen bewegt werden und dabei ihre Kanten aneinander abreiben, so scheinen solche Funde gegen die Annahme zu sprechen, daß die Steinkohlenlager fossile Moore seien. Außer den Geröllen kommen noch andere Gebilde vor, die zunächst recht fremdartig anmuten. Hierher gehören außer den Geröllen aus Quarz, Sandstein, Granit, Gneis und Kohle die konkretionären Bildungen.

Diese Konkretionen sind wohl aus den Mineralien hervorgegangen, die sich gelöst in dem die Kohle durchsetzenden Wasser befanden.

Hängen wir in eine gesättigte Kochsalzlösung einen Faden, so wird sich an diesem Fremdkörper bei Verdunstung des Wassers besonders gern Kochsalz ansetzen. Ähnliches dürfte auch in den Kohlenlagern vor sich gehen. Irgendwo scheidet sich aus der Lösung mineralische Substanz aus, und diese veranlaßt weitere Substanz, sich an derselben Stelle niederzuschlagen. So werden gewisse Partien durchlässigen Pflanzenmaterials ganz mit mineralischer Substanz durchsetzt. Man spricht dann von Intuskrustaten. Wo dagegen die mineralische Substanz nur äußerlich einen Pflanzenrest umkrustet hat, da wird von Inkrustaten gesprochen. Die Bildungen der Kohlenlager machen jedoch diese Trennung

Digitized by Google

nicht nötig. Die hier auftretenden konkretionären Bildungen sind ähnlich wie Gerölle kugelig bis knollig.

Die echten Gerölle beanspruchen nach dem Gesagten zunächst unser Interesse. Wir müssen uns fragen, wie sie wohl auf normale Weise in das Kohlenlager hineingelangt sein können. Wieder werden wir die Antwort finden, wenn wir in den Torflagern analoge Bildungen suchen und uns deren Ursprung zunächst hier unter den näherliegenden und daher verständlicheren Verhältnissen zu erklären suchen.

Die unsere Flachmoore durchfließenden Wasserläufe bringen nicht nur pflanzliche Reste mit, die dann in einem bodeneigenen Torflager bodenfremd sind, sie transportieren manchmal auch Sedimente und Gerölle weiter. Über die Art und Weise, in der größere Steine in ein Torflager zu gelangen vermögen, werden wir uns besonders in manchen Urwaldgegenden klar. Dort werden vom Wasser oft ganze ausgerissene Bäume mit Wurzelwerk und den darin haften gebliebenen Bodenbestandteilen in ein Torflager transportiert. Je feiner diese Bodenbestandteile sind, desto eher werden sie vom Wasser herausgespült; größere Steine aber lösen sich oft nur sehr schwer aus dem Netzwerk, mit dem die Wurzeln sie umsponnen haben. Vielleicht kann es nun vorkommen, daß solch ein Baum mit Geröllen irgendwo im Moore stecken bleibt und schließlich eingebettet und vom Torf überwachsen wird. Man hat Beweise dafür, daß auch die Moore der Vorwelt von Wasserläufen durchflossen waren.

Als „Flözverdrückungen" bezeichnet man nämlich diejenigen Stellen eines Flözes, an denen es eine

Digitized by Google

geringere Mächtigkeit hat als in seinen anderen Teilen. Werden diese Flözverdrückungen in eine Grundrißkarte eingetragen, so ergibt sich manchmal, daß sie denselben Verlauf wie ein Flußsystem haben.

Wie in den Torflagern, so sind die in Rede stehenden Gerölle in den Kohlenlagern nur selten.

Man ist keineswegs gezwungen, lediglich Bäume als die Vermittler anzusehen, die die Gerölle in die Kohlenlager gebracht haben. Auch andere Pflanzen können den Transport besorgt haben. Die Meerestange wachsen nämlich auf festem Gestein und sind spezifisch leichter als das Wasser. Wenn sie daher mit zunehmendem Alter größer werden und sich, wie dies häufig der Fall ist, auf einem nicht allzu großen Geröll befinden, so werden sie das Geröll schließlich an die Meeresoberfläche heben und mit diesem zugleich an den Strand gelangen. Sicherlich befanden sich zur Steinkohlenzeit manche Torflager in ebenso unmittelbarer Nähe des Meeres, wie heute z. B. die Moore am Kurischen Haff. Wir haben gehört, daß das Wasser des Haffs häufig das Flachmoor überschwemmt; wir kennen also durch eine gar nicht weitgehende Kombination ein zweites Mittel, durch das Fremdkörper in ein Moor zu gelangen vermögen.

Sicherlich haben viele Leser am Seestrand schon selbst Gelegenheit gehabt, Tange zu finden, die mit ihrem Fuß an einem Geröll festsaßen. Dieser Gesteinstransport aus der Tiefe durch Vermittlung von Tangen ist u. a. besonders schön und lehrreich auf Helgoland zu beobachten, wo eine Unzahl von Geschieben umherliegen, denen die Algen noch anhängen. Läge dort

Digitized by Google

am Strande ein Moor, so würden die Gerölle hineingeschwemmt werden können.

So enthalten denn auch gerade diejenigen Steinkohlenlager Gerölle, von denen wir genau wissen, daß sie in der Nähe von Meeren entstanden sind.

Wenn es in der Nähe der Meere die Tange sein könnten, die den Transport von Geröllen bewirken, so dürften allerdings da, wo sich ein Torflager am Rande eines Süßwassers befindet, die Fadenalgen dasselbe bewerkstelligen müssen. Diese können Kiesel, Schnecken- und Muschelschalen emporheben und so den Geologen, der solche festen Körper schließlich im Torfe oder in der Kohle wiederfindet, auf Irrwege leiten.

Außer den bisher besprochenen Geröllen, die aus anorganischem Gestein bestehen, findet man in den Kohlenlagern, wie gesagt, auch aus Kohle bestehende Gerölle. Die Kohle muß also in bewegtes Wasser geraten sein und sich an einem anderen festen Material abgerollt haben.

Es gibt auch Torfgerölle am Meeresstrande, die namentlich dort zu finden sind, wo ein unter das Meer geratenes Torflager vorhanden ist. In weiteren Kreisen bekannt ist besonders das Untermeermoor bei Westerland auf Sylt.

Die Kohlengerölle bestehen meist aus einer jener festen Kohlen, wie sie z. B. die Cannelkohle ist, da die Humuskohlen zu leichtbrüchig sind (vergl. S. 60).

Torf bildet leichter Gerölle als fertige Humuskohle, da er verfilzt ist und deshalb mehr zusammenhält.

Es muß nun näher auf die Inkrustate und Intuskrustate eingegangen werden. Ein Torflager

Digitized by Google

oder ein Kohlenlager ist eine ziemlich einheitliche Masse, in der sich nur hier und da anders geartete Bestandteile finden. Meist werden diese andersartigen Bestandteile Pflanzenreste sein, die sich irgendwie von dem übrigen Einerlei unterscheiden.

Vergleichen wir einmal die Verhältnisse der Wirklichkeit mit denen im Versuchsglase, von dem im Anfang dieses Kapitels die Rede war (S. 135). Auch von den Humuslagern, in denen wir mineralische Ausscheidungen finden, müssen wir ja annehmen, daß sie einst von einer Lösung durchsetzt waren, die ziemlich viel mineralische Substanz enthielt. Hier ist zunächst an Meerwasser zu denken.

Es sei auch daran erinnert, daß der Aschengehalt der Kohlen mit zunehmendem Alter abnimmt, wohl deshalb, weil sich die mineralischen Bestandteile der Pflanzen im Wasser lösen und durch Diffusion oder durch Zirkulation des Wassers das Lager verlassen. Vielleicht tragen diese mineralischen Bestandteile der Pflanzen dazu bei, die Konkretionen zu bilden.

In dem Versuchsglase haben wir nur das Prinzipielle dessen, was uns in den Humuslagern entgegentritt. Die mehr oder minder einheitliche Masse ist nicht vorhanden, wir können uns aber solche in der Lösung denken. In dem Faden erblicken wir den andersartigen Bestandteil. Wir stellen nun den allgemeinen Satz auf: mineralische Substanzen schlagen sich gern an Teilen nieder, die anders geartet sind, als die diese Teile umgebende gleichartige Masse.

Die Ausscheidungen aus den in die Humuslager eindringenden und zum kleinsten Teil auch dort ent-

Digitized by Google

stehenden Mineralösungen werden wohl häufig dadurch bedingt, daß durch den sich zersetzenden Humus chemische Umwandlungen vor sich gehen, so daß sich hierbei feste Mineralien und Gesteine bilden. Es entstehen Spateisenstein, Toneisenstein, Schwefelkiesknollen, Kieselsäureniederschläge, Kalziumkarbonate, Kalzium-Magnesium-Karbonate usw.

Für uns sind unter allen diesen mineralischen Bildungen diejenigen der Steinkohle am interessantesten. Sie zeigen beim Anschleifen den genauen Bau der Pflanzen, die von der mineralischen Substanz durch und durch erfüllt worden sind. Es handelt sich also um Inkrustationen. Da sie meist knollenförmig sind und in der Hauptsache aus Kalzium-Magnesium-Karbonat bestehen, nennt man sie Dolomitknollen. In England führen sie unter anderem den charakteristischen Namen Kohlenbälle (coal-balls).

Wenn man die Dolomitknollen zu Dünnschliffen verarbeitet und diese unter dem Mikroskop betrachtet, so erkennt man den anatomischen Bau der damaligen Pflanzen fast genau so gut wie an Schnitten durch ganz frisches Pflanzenmaterial. Der einzige Unterschied ist der, daß die Zellwände durch den Inkohlungsprozeß dunkelbraun geworden sind.

Die Zellen haben also ihre ursprüngliche Form behalten. Sie sind ganz von durchsichtigem Karbonat erfüllt und auch die Zellwände sind vollständig mit diesem Mineral durchsetzt.

Die Dolomitknollen finden sich immer nur in solchen Kohlenlagern, die in der Nähe von Meeren entstanden sind, und in der Tat sind im Meerwasser Kalzium-

Digitized by Google

und Magnesiumsalze vorhanden. Diese können mit dem Wasser leicht in ein Torflager gelangen, um sich da, wo sich eine Anregung bietet, niederzuschlagen. Niemals finden sich solche Knollen in Kohlenlagern, die sich mitten auf dem Festlande weit entfernt vom Meere gebildet haben.

Die Entstehung der Dolomitknollen hat man sich genauer etwa folgendermaßen zu denken. Durch die Zersetzung der Organismen entsteht eine verdünnte Lösung von Natrium- und Ammoniumkarbonat. Im Meerwasser findet sich unter anderem Magnesiumchlorid und -sulfat, sowie außer Kalziumkarbonat auch Kalziumsulfat. Die durch die Zersetzung entstehenden Salze setzen sich mit denen des Meerwassers um, und es bilden sich dabei die Salze des Dolomits. Zunächst werden diese vielleicht noch in Lösung verbleiben; da aber das Wasser nur sehr wenig Kalziumkarbonat und noch weniger Magnesiumkarbonat in Lösung zu halten vermag, werden sie sich bald ausscheiden müssen, und zwar an einer Stelle, wo hierzu die stärkste Anregung besteht.

Es wurde wiederholt erwähnt, daß im Meer häufig Pflanzenreste zusammengeschwemmt werden. Vielfach kommt es nun vor, daß sich aus diesen Pflanzenresten durch die Bewegung des Wassers „Genistpakete" bilden, die so groß sein können wie ein Storchnest. Dadurch, daß diese Pakete auf dem Grunde des Wassers fortwährend gerollt werden, verfilzen sie sich immer mehr und bilden schließlich oft tatsächlich wie Filz aussehende „Seebälle". Solche Bälle können nur mit Anwendung von Gewalt auseinandergelöst werden. Ihre

Digitized by Google

Form entspricht natürlich der der Gerölle. Nach allem, was nun in den vorangehenden Abschnitten gesagt worden ist, erscheint es doch leicht möglich, daß solche Bälle in Moore hineingeschwemmt worden sind. Hier eingebettet, würden sie den gelösten Mineralien Attraktionspunkte gewesen sein, denn sie würden innerhalb des mehr oder minder gleichartigen Torfs besonders dicht gepackte andersartige Komplexe dargestellt haben. Die Dolomitknollen entsprechen in der Form auch ganz und gar den Seebällen. Außerdem beobachtet man häufig an Dolomitknollen und an Seebällen, daß in ihnen die Pflanzenreste parallel zueinander liegen.

Wenn sich nun mineralische Substanzen besonders gern da absetzen, wo sich bereits etwas von demselben Mineral befindet, und wenn in den Kohlenlagern die mineralische Substanz immer gerade da ausgeschieden wurde, wo ein kleiner Ballen besonders dicht gepackten Pflanzenmaterials vorhanden war, so wird dieser Ballen zunächst freilich als andersartiger Bestandteil gewirkt haben. Weiter kommt man aber auf den Gedanken, daß, da die dichte Packung eine langsamere Zersetzung des Pflanzenmaterials bedingt, der Aschengehalt, d. h. der Gehalt des Pflanzenmaterials an mineralischen Substanzen, hier größer sein wird als in den übrigen Teilen des Humuslagers. Dies dürfte ähnlich wirken wie ein bereits vorhandener Kristall in einer Lösung seiner eigenen Substanz. In der Tat haben sich ja zu solchen Knollen gerade Kalzium- und Magnesiumkarbonat vereint, d. h. Verbindungen, deren Elemente in jedem Pflanzenkörper vorhanden sind.

Es gibt auch Kohlenlager, die teilweise oder ganz

Digitized by Google

dolomitisiert[1] sind. Dies wird auf eine besonders langwährende Einwirkung von Meerwasser zurückzuführen sein. Selbstverständlich können irgendwelche anderen der eingangs genannten mineralischen Substanzen gleichfalls solche Knollen oder auch ganze intuskrustierte Kohlenlager bilden.

Bisher sind die Versuche erfolglos geblieben, in derselben Weise, wie es die Natur macht, Dolomitknollen oder ähnliches künstlich zu erzeugen. Aber die angesetzten Versuche sind wohl niemals lange genug in Gang gehalten worden. Wenn sich bisher bei den gedachten Versuchen noch nicht einmal der Anfang einer konkretionären Bildung zeigte, darf man eben nur sagen, daß dergleichen wahrscheinlich sehr langsam entsteht. Auch ein Versuch, bei dem schnell faulende Substanzen, wie z. B. Fleisch, in künstliches Meerwasser gebracht wurden, mißglückte, trotzdem man doch weiß, daß sich bei der Zersetzung des Fleisches schneller als bei der Zersetzung pflanzlichen Materials Ammonium- und Natriumkarbonat bildet. Jedenfalls schien die Hoffnung berechtigt, man würde nach einiger Zeit vielleicht innerhalb des Fleisches als Einleitung der Intuskrustation Spuren von Dolomit nachweisen können. Bei einem anderen Versuch wurde das Fleisch in meerwasserdurchtränkten Sand gebettet. Hierbei wurde an die Konkretionen gedacht, die sich als Toneisensteinknollen häufig in den von Meeren abgesetzten, manche Stein-

1 Hierdurch wird die Ansicht, die Dolomitknollen seien echt versteinerte Seebälle, sehr zweifelhaft. Auch sie dürften da, wo wir sie heute finden, im Kohlenflöz entstanden sein. Man vergleiche hierzu namentlich die Studien von Kukuk und Stopes.

Digitized by Google

kohlenlager bedeckenden Tonschiefern finden. Diese Toneisensteinknollen enthalten als anregende Fremdkörper meist die Reste eines Meertieres, wie z. B. Schnecken- und Muschelschalen.

Die negativen Ergebnisse der Versuche machen es keineswegs unmöglich, daß sich einmal bei längerer Beobachtungsdauer oder bei veränderter Versuchsanordnung positive Resultate ergeben könnten.[1]

Bei einer an Ort und Stelle erfolgten Untersuchung des Torfs eines untermeerischen Moors haben sich keine Konkretionen gefunden; wahrscheinlich beginnt die Intuskrustation so allmählich, daß sich die Konkretionen erst später, vielleicht in halbfossilem Torf finden lassen.

Als Beweis dafür, daß der Torf die Salze des Meeres in sich sammelt, sei erwähnt, daß in früheren Zeiten die Wattenbewohner aus dem Untermeertorf durch Verbrennen Kochsalz gewannen.

Der Salzkoog in Nordfriesland an der schleswigschen Küste gegenüber der Insel Föhr trägt davon seinen Namen. Der Torf, der in dieser Weise Verwendung fand, stammt aus untergegangenen Mooren, wie sie an den Küsten der Nord- und Ostsee vielfach unter dem Meeresspiegel vorkommen, überall als Zeugen dafür, daß die früheren Küstenstrecken durch Landsenkung und die brandende Tätigkeit des Meeres verschlungen worden sind. Ausgeworfene Torfstücke deuten vielfach darauf hin.

Die Tatsache, daß der Untermeertorf die Salze des Meeres so sehr in sich sammelt, daß sie nachher aus

1 Über diese von mir ausgeführten Experimente ist bisher noch nichts veröffentlicht worden. R. P.

Digitized by Google

ihm gewonnen werden können, veranlaßt zu der Annahme, daß sich auch in den Seebällen die Salze des Meeres anreichern dürften. Gelangen die Seebälle dann in ein fremdes Torflager, so könnten die in ihnen konzentrierten Salze die Ausscheidung weiterer Salze anregen. Wir haben so noch eine Hypothese der Entstehung der Dolomitknollen.

Was spricht für die Tropenmoornatur der Karbonmoore?[1]

Im Laufe der vorliegenden Darstellung ist schon mehrfach angedeutet worden, daß die Moore, aus denen unsere Steinkohlenlager hervorgegangen sind, wahrscheinlich denen am ähnlichsten waren, die sich heute in den Tropen finden. Auf jeden Fall aber müssen die Steinkohlenlager Moore gewesen sein, die sich in einem frostfreien Klima bildeten. Unsere Heimat muß demnach zur Steinkohlenzeit ein Klima besessen haben, das dem der heutigen tropischen Länder wenigstens nahekam.

Bei genauerer Untersuchung können wir über die Karbonmoore sogar noch mehr sagen. Es ist möglich festzustellen, welchem der verschiedenen Moortypen, die wir bei unserer Wanderung durch das Moorgelände am Kurischen Haff kennengelernt haben, sie entsprechen. Sie waren von der Art des erlenbestandenen Sumpfflachmoores. Zwischen den Stämmen der Bäume stand ganz wie dort regelmäßig oder doch häufig das Wasser,

1 Einige Autoren widersprechen der Ansicht H. Potoniés, die Karbonmoore seien Tropenmoore. Ich bringe hierüber nichts, weil die Frage noch nicht geklärt ist. R. P.

Digitized by Google

so daß nur Pflanzen gedeihen konnten, die diesen Verhältnissen angepaßt waren.

Der obigen Anschauung widersprach lange Zeit die Meinung der Moorkundigen, in den Tropen gäbe es überhaupt keine Moore. Man meinte, daß da, wo die Hitze zu groß sei, jede Humusbildung ausgeschlossen sein müsse, denn alles abgestorbene Pflanzenmaterial verwese unter solchen Umständen außerordentlich schnell, ohne irgendwelche nennenswerten Reste zu hinterlassen.

Wenn man aber bedenkt, daß in den Tropen die Pflanzen durchschnittlich zehnmal schneller wachsen als bei uns, so sollte man meinen, daß es dort mit der Humusproduktion zum mindesten wieder auf dasselbe herauskommen müsse wie in unserer Zone, daß also auch in den Tropen unter geeigneten Umständen die Stoffproduktion die Zersetzungsgeschwindigkeit übertreffen dürfte. Erreicht doch eine in den Tropen auf günstigem Boden gewachsene Albizzia moluccana in 9 Jahren eine Höhe von 33 m. In derselben Zeit wird bei uns eine Buche kaum 2 m hoch, eine Lärche 4 m und eine Edeltanne etwa 1 m. Nach 17 Jahren ist die tropische Albizzia 44 m, die deutsche Buche dagegen nur etwa 3—4 m, die Lärche 10 m und die Tanne ungefähr 3 m groß. Ähnliche Verhältnisse ergeben sich, wenn man die Dicke der Bäume vergleicht.

Wie in unseren Wäldern, so bilden sich auch in denen der Tropen gelegentlich Humusdecken (vergl. S. 17). Ein Vergleich der dort und bei uns entstehenden Humusschichten zeigt aber, daß bei der kolossalen Stoffproduktion die Zersetzung in den Tropen

Digitized by Google

tatsächlich viel bedeutender sein muß als bei uns. Die Mächtigkeiten der Humusschichten sind nämlich fast dieselben wie bei uns. Immerhin sieht man aber schon hieraus, daß die Stoffproduktion doch groß genug ist, um überhaupt Humus zu erzeugen, und dies mußte von vornherein die Annahme unterstützen, daß es im Prinzip nicht unmöglich sei, in den Tropen auch einmal größere Torflager zu finden. Wo eine beständige Nässe für den nötigen Luftabschluß sorgt, da müßten auch hier die Bedingungen zu einer bedeutenderen Humusbildung gegeben sein.

In der Tat sind nun in neuerer Zeit solche Tropenmoore bekannt geworden. Eines davon befindet sich in Sumatra. Eine holländisch-indische Expedition hat es entdeckt, und ich habe es nach den Angaben von Koorders in der Naturwissenschaftlichen Wochenschrift zuerst beschrieben. Es ist dies ein großes Flachmoor, auf dem ein Mischwald aus über 30 m hohen immergrünen Bäumen steht. Die mikroskopische Untersuchung des Torfs dieses Tropenmoors ergab, daß er ganz wie die Steinkohle aus Resten höherer Landpflanzen besteht. Die chemische Analyse zeigte unter anderem, daß der Torf ebenso wie die Steinkohle im Gegensatz zu anderen Humusgesteinen besonders viel Kieselsäure enthält.

Jedenfalls wissen wir nun, daß in den Tropen große Sumpfflachmoore vorkommen. Man darf bei der in der tropischen Hitze bestehenden großen Zersetzungsintensität die Sumpfflachmoore als typisch für die tropischen Moore bezeichnen, denn unterhalb des Grundwasserspiegels wird sich der Humus besser er-

Digitized by Google

halten und vermehren können. Neuerdings hat sich freilich auf Ceylon[1] außer neuen sehr interessanten Tropenflachmooren ein mehr subtropisches flachmooriges Schwingmoor mit daran anschließendem Flachstandmoor, Zwischenmoor und wohl auch Hochmoor gefunden, allerdings im Hochlande von Ceylon, in einer Gegend mit sehr reichen Niederschlägen. Man sieht also, daß sich die Torfbildung auch in den Tropen unter Umständen noch über dem höchsten Wasserstand fortsetzen kann; dies aber wohl nur im Hochlande.

Ob während der Steinkohlenzeit auch Hochmoore oder zwischenmoorige Gelände vorgekommen sind, wie in Ceylon, läßt sich nach den bisherigen Ermittlungen nicht feststellen.

Interessant ist, daß in den auf Ceylon neuentdeckten Zwischenmoor- und vor allem Hochmoorgeländen nicht wie bei uns Moose auftreten. Zum mindesten hätte man die Mitwirkung dieser Pflanzengruppe erwartet, denn in den mitteleuropäischen Hochmooren ist es ja gerade das Torfmoos, das dem Torf die Möglichkeit gewährt, sich wesentlich über den Grundwasserspiegel zu erheben. Der in der Hauptsache aus Sphagnum bestehende Hochmoortorf legt sich, wie gesagt, uhrglasförmig auf den Flachmoortorf, da das Torfmoos mehr als die Pflanzen des Flachmoors die Fähigkeit besitzt, wie ein Schwamm das Regenwasser aufzusaugen und festzuhalten. Die Moorbildungen auf Ceylon beweisen demnach, daß es bei genügendem Niederschlag auch in einem warmen Klima und ohne die Mitwirkung von

1 Keilhack, Jahrbuch d. Königl. Preuß. Geologischen Landesanstalt, 1915.

Digitized by Google

Moosen möglich ist, daß sich der Torf wesentlich über den Grundwasserspiegel erhebt. Er klettert dort direkt an einem sanften Abhang in die Höhe.

Wenn es in unseren Mooren das Torfmoos ist, das uns sagt, hier hören Flachmoor und Zwischenmoor auf und hier beginnt das Hochmoor, so haben wir dort nicht solche deutliche Scheide. Man kann auch nichts von einer plötzlichen Anhöhung merken. Das Zwischenmoor hebt sich hier ganz gleichmäßig und wird schließlich zu einem Gelände, das wir insofern mit unseren Hochmooren vergleichen können, als der Pflanzenwuchs durch die Entfernung vom Grundwasserspiegel immer spärlicher wird. Wie bei uns die Krüppelkiefern, so finden wir dort verkümmerte Rhododendren. Besser wäre es, wegen des Fehlens der Moose zu sagen: hier hört die Torfbildung bereits mit dem „Zwischenmoor" auf. Seit Koorders sind noch eine ganze Reihe weiterer Tropenmoore entdeckt worden, so außer von Keilhack durch Janensch und Krenkel.

Aus allem ersehen wir, daß sich in den Tropen der Torf nicht nur überhaupt zu bilden vermag, sondern daß er auch zuweilen unter Bedingungen entsteht, unter denen wir es a priori nie zu hoffen gewagt hätten. Mehr denn je gelangen wir deshalb zu der Überzeugung, daß gerade die Tropen es sein werden, wo sich Moore bilden können, die denen der Steinkohlenzeit zur Seite gestellt werden dürfen.

Dieses Resultat d. h. das sichere Vorkommen großer, ordentlicher, bodeneigener Torflager unter Tropenklima (das eine davon noch dazu ganz in der Nähe des Äquators) hat hervorragende Bedeutung für die Er-

Digitized by Google

kenntnis der Kohlenlager führenden geologischen Formationen, zumal des Paläozoikums. Denn bei der Tatsache, daß die Pflanzen der produktiven Steinkohlenformation tropischen Habitus und sonstige Eigentümlichkeiten aufweisen, die heute die Tropenpflanzen auszeichnen, ist die Frage der Torfbildung in den Tropen für uns von größter Wichtigkeit; glaubte man doch — veranlaßt durch die immer wiederkehrenden Angaben des Fehlens von Torflagerstätten unter Tropenklima — zu besonderen Hypothesen greifen zu müssen, um den Widerspruch zu lösen, der sich in dem Vorkommen fossiler Moore (Steinkohlenlager), gebildet aus Vegetationen von Tropenpflanzenhabitus, zu erkennen gibt. Auch in diesem Fall kommen wir also nunmehr zur Erklärung vollständig mit Vergleichsdaten aus, die uns die heutigen Verhältnisse bieten.

Zunächst seien nun nach Koorders die besonderen Kennzeichen eines Tropensumpfflachmoores zusammengestellt.

In der heißen Ebene des flachen östlichen Teils der Insel Sumatra findet sich am linken nördlichen Ufer des Kamparflusses ein mit immergrünem Mischwald bestandenes Flachmoor, das wir zum Vergleich heranziehen wollen. Es liegt 90 km von der Meeresküste entfernt. Seine Bäume sind über 30 m hoch und stehen auf einem Torf, der bis 9 m Mächtigkeit erreicht. Dieser Torf ist ganz wie die Steinkohle aus den Resten höherer Tropenpflanzen zusammengesetzt. Wie angedeutet wurde, ist die Asche des Torfs sehr kieselsäurehaltig; dies gewinnt dadurch an Interesse, daß in dem Torf keine Kieselalgen vorhanden sind.

Das Wasser unseres Tropenmoors ist dunkelbraun,

Digitized by Google

da es viel Humusbestandteile gelöst enthält, eine Erscheinung, die eben bei fast allen Mooren mehr oder minder gut beobachtbar ist. Wie gewöhnlich war auch hier von einem schlechten Geruch des Wassers nichts zu bemerken. Es wäre nicht möglich gewesen, dieses Moor zu betreten, wenn der Boden nicht durch ein dichtes Wurzelgeflecht verfestigt gewesen wäre. Das Gehen war außerordentlich beschwerlich, da aus dem Boden überall aufrechtwachsende, $^1/_3$ bis $^1/_2$ m lange Atemwurzeln hervorkamen, die wie dünne Kegel oder auch wie Zylinder aussahen und von denen die älteren oben knieförmig umgebogen waren. Es sind dies die Pneumatophoren, die sich über das bewegungslose und deshalb außerordentlich sauerstoffarme Wasser erheben, um den unterirdischen Organen Sauerstoff zuzuführen. Diese auch Kniewurzeln genannten Gebilde waren im Sumatramoor, ihrer Funktion entsprechend, dicht mit weißen Atemöffnungen, den Lentizellen, bedeckt. Vom Stamm unserer Birke kennen wir solche Gebilde ebenfalls. Hier heben sie sich schwarz von der weißen Rinde ab.

Die Stämme der Bäume des Tropenmoores sind außerordentlich gerade und glatt, beides Eigenschaften, die wir später bei den Karbonpflanzen wiederfinden werden. Auch Palmen fanden sich, die an gewisse palmenähnliche Pflanzen der Braunkohlenzeit erinnerten. Ebenso muß ein kleiner Farnbaum erwähnt werden, da doch die Farnbäume im Karbon eine so bedeutende Rolle gespielt haben. Moose waren nur sehr spärlich vertreten. Die glatten Stämme der Bäume zeigten namentlich auf ihren unteren Teilen auffallend viele

Digitized by Google

funktionstüchtige Lentizellen. Besonders auffällig waren die Brettwurzeln, die hier und dort zu sehen waren. Solche Brettwurzeln werden nicht nur durch ihre Lentizellen die Atmung unterstützen können, sondern sie werden auch bewirken, daß der Baum im weichen Torfuntergrund einen festeren Stand hat. Auch Luftwurzeln, die büschelartig bis zu einer Länge von 1 bis $1^1/_2$ m horizontal aus dem Stamm herauswuchsen, waren häufig zu sehen. Diese besenartigen Gebilde vermögen den im Stamm aufsteigenden Saftstrom mit Sauerstoff zu versorgen. An den umgestürzten Baumriesen konnte man sehen, daß Pfahlwurzeln ganz und gar fehlten; die Wurzeln breiteten sich nur horizontal nach allen Seiten hin mächtig unter dem Boden aus, wobei sie stets dicht unter der Oberfläche blieben. Ganz wie dies auch bei unsern Moorkiefern der Fall ist (S. 47 und Tafel I). Auch Lianen waren vorhanden, die wir den Kletterfarnen des Steinkohlenwaldes vergleichen können.

Es leuchtet ein, daß von den Pflanzen der Vorwelt nur diejenigen in größeren Mengen erhalten bleiben konnten, die durch Wasser vom zerstörenden Einfluß des Luftsauerstoffs abgeschlossen wurden. So kommt es, daß es gerade die Moorpflanzen sind, deren Reste bis auf unsere Tage in den verschiedensten Zuständen erhalten blieben. Nur ausnahmsweise konnte eine Pflanze mit trockenem Standorte den notwendigen Erhaltungsbedingungen anheimfallen, und wenn sie uns nun heute zusammen mit jenen Pflanzen entgegentritt, die durch ihren Bau unzweifelhaft eine Sumpfpflanzennatur verraten, dann werden wir vielfach

Digitized by Google

nicht ahnen können, daß es sich hier einmal um ein zufällig hinzugeschwemmtes Exemplar einer fremden Pflanzengemeinschaft handelt. Wir werden solche Pflanze fälschlich auch für eine Moorpflanze halten.

Bisher hat man die Pflanzen der Karbonmoore immer mit denjenigen verglichen, die sich im atlantischen Flachland des mittleren Nordamerika finden. Dort ist es oft im Winter sehr kalt, und so war es kein Wunder, wenn die Vergleichspunkte mehr oder minder mit Gewalt herangezogen werden mußten. Vergleichen wir aber jetzt die Pflanzen der nunmehr entdeckten Tropensumpfflachmoore mit denen der Steinkohlenzeit, so fällt sofort auf, daß die Karbonmoore tatsächlich vom Flachmoortypus gewesen sein müssen. Schon die Größe der Karbonpflanzen und ihre Üppigkeit zeigt zur Genüge, daß es sich in ihnen nicht etwa um Hochmoorpflanzen handelt. Auch finden sich im Karbon ganz wie in den Tropenflachmooren keine sicheren Moosreste, was allein allerdings nicht dafür sprechen würde, daß es sich in den Karbonmooren unbedingt um Flachmoore handelt, denn das kürzlich auf Ceylon entdeckte zwischenmoorige Gelände enthält ja auch fast gar keine Moose. Moose sind eben nordische Pflanzen, im Karbon kamen sie wohl überhaupt noch nicht vor.

Sowohl viele Karbonpflanzen als auch viele Pflanzen der bisher bekannt gewordenen tropischen Moore besitzen nun Eigentümlichkeiten, die allerdings auch vielen Pflanzen der mitteleuropäischen Hochmoore zukommen. Es sind dies Anpassungen, die eine allzu starke Verdunstung des in den Blättern enthaltenen Wassers verhindern. Solche xerophilen Merkmale finden

Digitized by Google

sich für gewöhnlich nur bei Pflanzen, die auf besonders trockenem Boden wachsen. In diesem Fall ist uns dies durchaus erklärlich. Sehr überflüssig scheinen uns jedoch solche Anpassungen bei Pflanzen, die sich wie die der Karbonmoore mit ihren unterirdischen Organen stets im Wasser befinden. Häufig kommt es deshalb vor, daß der Fernerstehende auf Grund der xerophilen Merkmale einen trockenen Standort für die Karbonpflanzen annehmen möchte. Deshalb ist es von größtem Wert zu wissen, daß auch in den tropischen Sumpfflachmooren solche Anpassungen vorkommen. Sie setzen den Beobachter um so mehr in Erstaunen, als oft in demselben Klima, vielleicht sogar dicht neben dem Moore auf weit trockenerem Boden Vegetationen vorkommen, die weit weniger oder gar nicht xerophil gebaute Pflanzen enthalten. Es wird einem hiernach schwer, sich zu der häufig geäußerten Meinung zu bekehren, es handele sich hier in den xerophilen Merkmalen um eine Anpassung an die bedeutende Sonnenbestrahlung, der die tropischen Pflanzen ausgesetzt sind. Ist doch damit nicht erklärt, warum denn gerade auf den Mooren besonders viele Pflanzen mit derartigen Anpassungen anzutreffen sind. Trotzdem also diese Erklärung in gewissen Fällen sicherlich viel für sich hat, bleibt immer noch die Frage offen: warum sind gerade auf gewissen Mooren besonders viele Pflanzen mit xerophilen Merkmalen vorhanden? Hier ist vielleicht ein Gedanke nicht ohne weiteres von der Hand zu weisen: daß es nämlich für die Pflanze von Vorteil sei, dort, wo ihr beliebig große Quantitäten Wassers zur Verfügung stehen, die Verdunstung dennoch in gewissen Schranken zu

Digitized by Google

halten, und zwar deshalb, weil die durch die Verdunstung erzeugte Kälte zu groß sein würde.[1]

Man erinnere sich beispielsweise an die Wassergefäße aus porösem Ton, die bei verschiedenen Völkerstämmen zur Verwendung kommen. Karl Weule in Leipzig macht über diese die interessante Angabe, daß in ihnen das Wasser um so kühler wird, je heißer die Sonne darauf brennt. Weiter äußert sich v. Luschan über die porösen Tongefäße der Ägypter, die Kulle; er schreibt in der „Naturw. Wochenschrift" (1913): „Der Grad der Abkühlung ist sehr verschieden. Den größten Unterschied habe ich im Sommer 1902 in Sendschirli, Nordsyrien, beobachtet, wo wir wochenlang nachmittags eine Lufttemperatur von rund 40° C hatten und unser abgekochtes Wasser oder unseren Tee bis auf 15°, also um volle 25° nur durch Verdunstung abkühlen konnten. Wenige Tagereisen von Sendschirli entfernt, in den feuchten Küstenstrichen, konnten wir nur eine Abkühlung um 1° oder 2° erreichen, auch wenn das Gefäß an einer zugigen Stelle aufgestellt und allenfalls noch an einer langen Schnur schwingend gehalten wurde."

Wenn durch bloße Verdunstung ein 25° unter der Außentemperatur liegender Wärmegrad entstehen kann, so ist es nicht mehr fernliegend anzunehmen, daß ebenfalls durch bloße Verdunstung auch bei nicht allzu hoher Außentemperatur und Luftfeuchtigkeit ein Pflanzenblatt auf niedere Temperaturen kommen kann, die ihm nicht mehr zuträglich sind. Es sei darauf hingewiesen, daß gewisse Tropenpflanzen schon bei 5° C erfrieren, also sich

1 R. Potonié, Über die xerophilen Merkmale der Pflanzen feuchter Standorte. N. W. 1913. Nr. 47.

Digitized by Google

wenige Grade unter 15° C schon nicht mehr ganz wohl fühlen und nicht mehr vorteilhaft assimilieren können. Wasserarme Pflanzenteile, sowie solche Pflanzen, die ohne Schaden große Trockenheit ertragen, sind zudem gegen Kälte widerstandsfähiger als wasserhaltige Pflanzen. Dies beweisen Versuche von C. de Candolle und R. Pictet (über diese Dinge vergl. Schimper).

Fassen wir also gewisse xerophile Merkmale, wenn auch nicht ganz, so doch zum Teil als Vorkehrungen gegen die Verdunstungskälte auf, so können wir nun auch verstehen, warum gerade auf unseren Hochmooren so viele xerophile Pflanzen vorkommen, auf unseren Flachmooren dagegen nicht. Die Hochmoorpflanzen sind durch die Nahrungsarmut des Bodens bedeutend kleiner als die Flachmoorpflanzen. Mathematisch gedacht hat aber ein kleines Blatt eine größere Verdunstungsoberfläche als ein großes. Dies haben Experimente gezeigt[1]. Also wird auch für ein kleineres Blatt die relative Verdunstungskälte eine größere sein[2].

Fig. 11 zeigt eine graphische Darstellung, die durch die Linie α die durch Verdunstung in einer bestimmten Zeit hervorgerufene Gewichtsabnahme eines größeren Efeublattes von 1,76 g kennzeichnet. β zeigt, wie die Gewichtsabnahme desselben Efeublattes vor sich gehen müßte, wenn sie proportional derjenigen eines etwas kleineren Efeublattes von 1,42 g erfolgte. Kleinere Blätter verdunsten also relativ bedeutend schneller, und

1 Das Ergebnis dieser Experimente wird hier zum ersten Male veröffentlicht.

2 R. P. l. c. 1913.

Digitized by Google

zwar auch dann, wenn sie gleichen Alters und unter gleichen Beleuchtungsverhältnissen groß geworden sind. Alle Versuche, die mit den verschiedensten Pflanzenarten angestellt wurden, ergaben dieses Resultat.

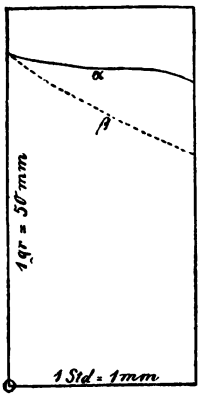


Fig. 11. Die Kurve α stellt die durch Verdunstung eines Efeublattes von 1,76 g in einer gegebenen Zeit erfolgte Gewichtsabnahme dar. Die Kurve β zeigt, wie viel schneller die Gewichtsabnahme desselben Blattes stattfinden würde, wenn sie proportional derjenigen eines kleineren Blattes von 1,42 g verliefe.

Die Schachtelhalme der Steinkohlenzeit, die Kalamariazeen, haben einst ähnliche Bestände gebildet wie z. B. am Kurischen Haff das Schilfrohr (vergleiche Taf. III). Diese Dickichte werden wohl auch an ähnlicher Stelle aufgetreten sein wie die Schilfrohrbestände, nur sind sie sehr viel mächtiger gewesen. Die Schachtelhalme hat man schon deshalb als die Pioniere der Torfbildung im Karbon aufzufassen, weil man sie besonders oft in Sandsteinen findet. Auch ist das Liegende der Kohlenlager häufig von den unterirdischen Organen dieser Schachtelhalme durchsetzt.

Wie sehr die Karbonmoore den waldbestandenen Flachmooren ähnelten, zeigt sich auch darin, daß viele ihrer Pflanzen baumförmig sind, deren nächste heute noch lebende Verwandte aber allerdings klein und unscheinbar erscheinen. Damals gab es noch viele baumförmige Farne; in den heutigen Tropen

Digitized by Google

sind sie nicht mehr so häufig. Der Familie der Bärlappgewächse, die heute bloß noch durch recht kleine Pflanzen vertreten wird, von denen nur das sog. Schlangenmoos erwähnt sei, gehörten damals mächtige Bäume an. Es ist hier ähnlich wie in der Zoologie mit der Familie der Eidechsen. Heute gehören die Eidechsen zu den kleineren Vertretern des Tierreichs, einst haben sie Größenmaße gehabt, die jetzt kaum noch vorkommen.

Da ein Torflager nur dann ein Kohlenflöz werden kann, wenn es von irgendwelchen Gesteinen bedeckt wird, die von überschwemmenden Wassern herbeigeführt werden, Hochmoore aber in Überschwemmungsgebieten sich gar nicht entwickeln können; da weiter demgegenüber die Sumpfflachmoore Überschwemmungsgebiete sind, so haben wir auch hierin einen Grund, die Entstehung fossiler Flachmoore für eine generellere Erscheinung zu halten. Weiter weisen auch die besprochenen Gerölle und konkretionären Bildungen (S. 135) darauf hin, daß es sich in den Steinkohlenlagern um fossile Sumpfflachmoore handelt. Nur in Überschwemmungsgebieten werden hinreichende Mengen mineralischer Substanz durch das Wasser zugeführt werden können, um die Entstehung derartiger Körper zu ermöglichen. Immer wieder ist darauf hinzuweisen, daß die Armut an mineralischen Substanzen ja gerade den Charakter der Hochmoore ausmacht. So treten z. B. in Flachmooren vielfach Eisenmineralien auf, in Hochmooren dagegen kommen sie niemals vor. Da also nach alledem die Flachmoore besonders zur Fossilisation geeignet sind, während sich die Hochmoore der Fossilisation sozusagen

Digitized by Google

entziehen, so versteht man immer mehr, warum alle bisher bekannt gewordenen Braunkohlen- und Steinkohlenlager Reste einer Vegetation aufweisen, die mehr oder minder der der Flachmoore entspricht. Wir können also getrost sagen: wenn es überhaupt fossile Hochmoore gibt, so sind das jedenfalls Ausnahmen. Wenigstens ist noch niemals eines gefunden worden.

Noch etwas anderes wird daran schuld sein, daß man keine fossilen Hochmoore findet. Die geographische Verteilung der Moortypen ist nämlich folgende: die Hochmoore sind im kalten Klima häufiger, im gemäßigten Klima sind etwa ebensoviele Hochmoore wie Flachmoore vorhanden, und die Moore, die man bis jetzt in den Tropen gefunden hat, gehören in der Hauptsache dem Flachmoortypus an.

In den Tropen scheint also das abgestorbene Pflanzenmaterial wegen der großen Hitze oberhalb des Grundwasserspiegels meist der vollständigen, „restlosen" Zersetzung anheimzufallen. Oder umgekehrt ausgedrückt: in den Tropen kann sich für gewöhnlich nur unterhalb des Grundwasserspiegels Torf bilden. So entspricht es ja auch den fossilen Funden.

Es seien nun die Tatsachen aufgezählt, durch die sich die Karbonpflanzen als Pflanzen eines heißen und feuchten Klimas kennzeichnen.

Diejenigen fossilen Farne, die mit hinreichend guterhaltenen Fortpflanzungsorganen gefunden worden sind und die sich deshalb ohne Umstände in das natürliche System der heute lebenden Pflanzen einreihen ließen, erwiesen sich als Verwandte von Familien, deren Vertreter in den Tropen und Subtropen leben.

Digitized by Google

Die Farne, denen wir in unserem gemäßigten Klima begegnen, sind meist nur kleine Stauden. Im Karbon wie in den Tropen aber zeigen sich Farnbäume (s. Taf. III) und außerdem kletternde oder windende Farne, von denen es heutzutage auch in den Tropen nur noch recht wenige Arten gibt.

Die Kletterfarne müssen im Steinkohlenurwalde die Rolle unserer heutigen tropischen höheren Schling- und Kletterpflanzen (Lianen) gespielt haben. Es muß der Charakter des Steinkohlenurwaldes nicht unwesentlich durch solche Farne beeinflußt gewesen sein, so daß sie seinen tropischen Habitus mitbedingen halfen.

Organe, die heute hauptsächlich bei Tropenfarnen vorkommen, sind die Aphlebien. Wenn die jugendlichen Wedel eines Farns noch eingerollt sind, dann haben die Aphlebien bereits ihre volle Größe. Sie umhüllen den kleinen, noch zarten Wedel und führen ihm zum schnelleren Wachstum den Tau zu, der sich auf ihnen niederschlägt. Sie sind nämlich von so zarter Bauart, daß das Wasser ihre feinen Zellwände von außen durchdringen kann.

Diese Zusatzfiedern haben den Paläobotanikern viel Kopfzerbrechen gemacht. Da viele nicht wußten, daß ähnliche Bildungen heute noch an tropischen Farnen vorkommen, hielten sie die Aphlebien für Schmarotzer. Ähnlich wie die Mistel auf Bäumen, z. B. der Kiefer, schmarotzt, so sollten die Zusatzfiedern besondere Pflanzen sein, die nun auf den größeren Farnwedeln schmarotzend von diesen lebten oder doch auf ihnen wohnten.

In der gemäßigten Zone finden wir auch nirgends

Digitized by Google

so große Farnwedel, wie viele Karbonfarne sie besessen haben.

Einen sehr wichtigen Aufschluß über das Klima einer Gegend gibt uns der anatomische Bau der in die Dicke wachsenden Holzgewächse. Betrachten wir den Querschnitt eines Baumes, der unserer Zone entstammt, dann erblicken wir eine mehr oder minder große Zahl konzentrischer Kreise, die Jahresringe genannt werden. Das Dickenwachstum unserer Bäume setzt nämlich im Frühjahr, der Hauptwachstumsperiode, mit großen Zellen ein. Im Herbst, mit herannahendem Winter werden dann die Zellen dem langsameren Wachstum entsprechend kleiner. Es versteht sich so, daß die Zahl der entstandenen Ringe der Zahl der Jahre entspricht, die der Baum durchlebt hat. Besonders scharf markiert sich natürlich die Grenze zwischen dem kleinzelligen Herbstholz und dem großzelligen Frühjahrsholz des folgenden Jahres. Wo nun in den Tropen ein regelmäßiges Klima ohne Regenzeiten und Trockenperioden oder dergleichen besteht, besitzen die in die Dicke wachsenden Bäume naturgemäß keine solchen Jahresringe. Das ganze Holz ist großzellig wie bei uns das Frühjahrsholz. Ganz ebenso ist es bei den Holzgewächsen des Karbons. Niemals finden sich hier in dem großzelligen Gewebe Jahresringe. Das Klima muß also damals in Mitteleuropa ein ganz gleichmäßiges gewesen sein.

Entspricht nun auch das stete Vorhandensein von Jahresringen bei den jetzigen Holzgewächsen unserer gemäßigten und kalten Zone gerade der Periodizität der Klimate dieser Zonen, im Gegensatz zu dem mehr

Digitized by Google

gleichmäßigen Wachstum der tropischen Pflanzen der heutigen und der Steinkohlenzeit, so sind doch, wie es freilich selbstverständlich ist, länger dauernde Wechsel in den Witterungsverhältnissen der Steinkohlenzeit vorgekommen, ähnlich wie in den heutigen Tropen. Das ist an den uns überkommenen Resten zuweilen in interessanter Weise wahrzunehmen. Wie nämlich unsere heutigen Pflanzen, wenn sie ungenügend belichtet werden, wohl in dem Bestreben, das fehlende Licht zu suchen, gern lang aufschießen und dadurch ihre Blätter weit auseinanderrücken, und wie die Pflanzen in der Trockenheit oder aus anderen Gründen leicht klein oder kurz bleiben und dann umgekehrt ihre Blätter dichter gedrängt zeigen, so kann man auch auf den Stämmen der schon erwähnten Sigillarien oder Siegelbäume oft einige Zonen engerstehender Blattnarben bemerken, die demjenigen, der ihre Sprache zu deuten versteht, die wechselvolle Landschaft in der Phantasie bis in gewisse Einzelheiten hinein wieder erstehen lassen.

Der Name Siegelbaum weist auf die merkwürdige Struktur des Stammes, die den Eindruck erweckt, als hätte jemand mit einem Petschaft in eine weiche Masse dicht nebeneinander unzählige Siegel geprägt.

Durch ihre scharfen und äußerst regelmäßigen Skulpturen machen die Stämme der Siegel- und Schuppenbäume einen befremdenden Eindruck und erinnern an eine steife Architektur, die den Gedanken durch geometrische Formen einzwängt und ihm keine Beweglichkeit läßt. Hat man auch nur den kleinsten Teil der Rindenoberfläche eines solchen Baumes in sich aufgenommen, so kennt man den ganzen Stamm, der über-

Digitized by Google

all die gleiche Skulptur zeigt und dadurch so eintönig wirkt, wie etwa eine Tapete, die wie ein Schachbrett nur aus quadratischen Feldern besteht.

Eine Eigentümlichkeit, die heute fast nur noch bei Pflanzen des tropischen Regenwaldes zu beobachten ist, zeigt sich ebenfalls bei den Karbonpflanzen. Die Blüten befinden sich nicht immer an den jungen Zweigen der Baumkronen verteilt, sondern sie brechen seitlich aus dem alten Baumstamm hervor. Auf unserer Tafel III erblickt man solche stammbürtigen Blüten an dem Siegelbaum im Vordergrunde links. Sie befinden sich an der Stelle, wo sich der Stamm gabelt.

Das recht häufige Vorkommen stammbürtiger Blüten bei Karbonpflanzen entspricht der vielfach weitgehenden Arbeitsteilung sämtlicher Organe und Organsysteme der Pflanzen des Regenwaldes der heutigen Tropen. Diese zeigen viel häufiger als die Pflanzen unserer gemäßigten Zone die Ausbildung eigener Sprosse, denen ausschließlich die Arbeit der Ernährung zukommt. Bei den Bäumen mit stammbürtigen Blüten nimmt gewissermaßen die ganze Laubkrone einen solchen Charakter an, und die Nebenarbeit des Blühens und Früchtetragens wird den älteren Ästen und dem Hauptstamm übertragen. Es ist vielleicht der durch die dichte tropische Vegetationsdecke bedingte mächtige Kampf ums Licht, der sich darin ausspricht, daß die lichtbedürftigen Laubblätter oft ganz ausschließlich den Gipfel einnehmen, während die Fortpflanzungsorgane an denjenigen Teilen der Pflanzen auftreten, die dem Licht weniger zugänglich sind, wo sie jedenfalls die ausgiebige Lebensverrichtung der Laubblätter in keiner

Digitized by Google

Weise behindern. Tafel III wird dies erläutern können.

Die Stammblütigkeit steht aber wohl auch in Beziehung — und dies vielleicht in erster Linie — zu den Regenmengen, die in Moorgegenden besonders reichlich sind. Die Blüten werden durch den Regen leicht beschädigt, so daß es vorteilhaft ist, wenn die Fortpflanzungsorgane in Regionen der Pflanze untergebracht sind, in denen die Krone als Schirm einen Schutz gewährt.

Auch die Blattformen der fossilen Pflanzen scheinen auf im ganzen tropische Verhältnisse in der in Rede stehenden Zeit hinzuweisen.

Der Botaniker E. Stahl hat gezeigt, daß die Zerteilung der Blattspreite in mehr oder weniger voneinander unabhängige Lamellen den Vorteil mit sich bringt, daß bei im übrigen gleichem Bau und gleicher Gesamtoberfläche die Spreiten schwächer gebaut sein dürfen, als wenn sie ganz sind. „Hieraus ergibt sich, daß die Herstellung einer gegen Regen und Wind gleich widerstandsfähigen geteilten Spreite einen geringeren Materialaufwand erheischt als die einer einfachen ungeteilten."

„Als Schutzmittel gegen die mechanischen Wirkungen des Regens und Hagels", sagt auch der Botaniker Kny, „betrachten wir die Zerteilung der Blattspreite" usw., und ferner: „Ebenso wie zerteilte werden schmale und sehr biegsame Blattspreiten befähigt sein, den mechanischen Wirkungen der atmosphärischen Niederschläge auszuweichen." Denn es leuchtet ohne weiteres ein, „daß, wenn die Spreite tiefgebuchtet oder in eine größere

Digitized by Google

Zahl kleiner, selbständig gestielter Abschnitte zerlegt ist, die Beweglichkeit der einzelnen Teile sehr erhöht wird und letztere dem Anprall eines sie treffenden Stoßes leichter durch Biegung ausweichen können, als dies bei einer größeren, ungeteilten Spreite möglich ist."

Experimente beweisen das Gesagte, und die Natur zeigt die Richtigkeit der Anschauung überall, sobald man erst einmal auf die Sache aufmerksam gemacht worden ist. So treten z. B. grobgefiederte oder völlig ganzrandige Blätter nach Stahl gegenüber den feinzerschlitzten bei den erdbewohnenden Farnen der feuchten Tropenregionen ganz bedeutend zurück. „Dieser Umstand spricht dafür, daß wir in der Spreitenteilung nicht bloß eine Anpassung an den Wind zu sehen haben, denn gerade die farnreichen Schluchten der Wälder der tropischen Gebirge gehören zu den allerwindstillsten Standorten." Namentlich lehrreich muß es natürlich sein, verwandte Arten miteinander zu vergleichen. Sehen wir uns diesbezüglich z. B. die europäischen Arten der Pappeln an, so bemerken wir, daß bei der Silberpappel die größten Blätter (die an jüngeren und üppigen Trieben oft bis 15 cm lang und 12 cm breit werden) die tiefsten Einschnitte des Blattrandes haben und die Spreite nicht selten drei- bis fünflappig ist, während sie bei der Zitterpappel und der Schwarzpappel, deren Blätter immer nur geringe Größe erreichen, niemals so weit geteilt, höchstens mit Randkerben oder Zähnen versehen ist.

Es ist nun auffällig, daß das Auftreten großflächiger ungeteilter Blattspreiten im ganzen erst eine spätere Errungenschaft in der Entwicklung der Pflan-

Digitized by Google

zenwelt darstellt. Je tiefer wir in die geologischen Formationen der Vorzeit hinabsteigen, desto schmaler oder zerteilter und kleinfiederiger sind im allgemeinen (also von Ausnahmen abgesehen) die uns überkommenen Blattreste, eine Tatsache, die im Lichte der Kny-Stahlschen Untersuchungen betrachtet mit der Anschauung im Einklang steht, daß die Regengüsse der früheren Perioden im großen und ganzen stärker gewesen sind als heute.

In den ältesten Formationen des Altertums wird uns das verhältnismäßig zahlreiche Vorkommen eines Farntypus mit schmallinealen bis fadenförmigen Fiederchen letzter Ordnung auffallen (Typus Rhodea). In dem der Zeit nach folgenden geologischen Horizont finden sich zwar ebenfalls noch Farne mit sehr schmallinealen Fiederchen, aber nicht so zahlreich wie vorher, und es überwiegen die Formen mit kleinen, sich der Keil- und Kreisform nähernden Fiedern. Gehen wir in noch höhere Schichten hinauf, so bemerken wir solche Formen, die man zum Typus Rhodea stellen könnte, nur noch ganz untergeordnet. An ihre Stelle tritt ein Typus, den man als Palmatopteris (Fächerfarn)-Typus bezeichnet, der sich zwar noch durch schmale, aber doch fächerig-zusammentretende Fiedern charakterisiert. Es kommt der Typus Mariopteris mit größeren, im ganzen länglich-dreieckigen Fiederchen hinzu. Auch der Typus Pecopteris mit am Grunde breit ansitzenden Fiederchen letzter Ordnung tritt nunmehr bemerkenswerter auf, ein Typus, der in dem nächsthöheren Horizont häufiger und darüber in dem sogenannten Rotliegenden (das ist die Formation über der Steinkohlenformation)

Digitized by Google

sogar herrschend wird. Daß ein pecopteridisches Fiederchen weniger leicht und schnell einem durch schwere Regentropfen bewirkten Stoß ausweicht als ein Fiederchen von den älteren Typen, das nur durch einen ganz schmalen Teil, oft nur durch ein Stielchen ansitzt, ist ohne weiteres einleuchtend. Endlich mag noch darauf hingewiesen werden, daß die baumförmigen Verwandten unserer Bärlappe und Schachtelhalme, die Schuppen- und Siegelbäume, sowie die Kalamarien der Steinkohlenformation nur schmale, oft lineale Blätter besitzen. Nur die Kordaiten haben zwar breitere, bandförmige Blätter, die aber immer noch mit den Blättern der gegenwärtigen Bäume verglichen schmal, namentlich im Vergleich zu ihrer Länge sind.

Es sei auch darauf aufmerksam gemacht, daß die älteren Verwandten des Ginkgobaumes auffällig geschlitzte Blätter besessen haben.

Ist das alles ein „Zufall"? Es ist gewiß erlaubt, die Eigentümlichkeiten der fossilen Pflanzen nach den Erkenntnissen neuerer Studien zu beurteilen.

Es sollen nun diejenigen Karbonpflanzen charakterisiert werden, die sich insbesondere als Wasser- oder als Sumpfpflanzen verraten.

Wasserpflanzen sind höchstwahrscheinlich die der Familie der Keilblattgewächse (Sphenophyllazeen) angehörenden Arten. Der Bau ihrer Stengel entspricht dem der Stengel untergetauchter Wasserpflanzen der Jetztzeit. Außerdem zeigen sie noch einige andere Eigentümlichkeiten, die gleichfalls bei unseren Wasserpflanzen zu beobachten sind. Die Keilblattgewächse haben nämlich oft zwei verschiedene Sorten von Blättern,

Digitized by Google

feinzerschlitzte Unterwasserblätter und weniger zerteilte Luftblätter, die wahrscheinlich wie die Blätter der Seerosen auf der Wasserfläche geschwommen haben. Wenigstens müssen wir das annehmen, wenn wir die Keilblattgewächse mit heutigen Wasserpflanzen, z. B. mit dem bekannten weißblütigen Wasserhahnenfuß vergleichen. Die Zerschlitztheit der Unterwasserblätter wird einer Pflanze in einem sauerstoffarmen ruhigen Gewässer eine große Oberfläche verschaffen, die es ermöglicht, den größtmöglichen Teil der wenigen mit den Blättern in Berührung kommenden gelösten Kohlensäure aufzunehmen.

Nunmehr seien einige Eigentümlichkeiten typischer Sumpfpflanzen des Karbons aufgezählt. Wir werden sehen, daß wir im großen und ganzen Eigenschaften finden, die auch für die heutigen, ständig in feuchter Luft lebenden Pflanzen charakteristisch sind. Ganz wie diese haben die Karbonpflanzen nicht nur die hohe Gestalt, sondern meist auch große Blätter, große Zellen und ein gut entwickeltes Durchlüftungssystem.

Über die Aufgabe des Durchlüftungssystems sei mitgeteilt, daß die im Innern des Pflanzenkörpers befindlichen, mit Luft erfüllten Hohlräume den Mangel an Außenluft aufheben können. Gerade bei Sumpfpflanzen sind deshalb solche Hohlräume besonders häufig und in besonderer Größe vorhanden, finden doch vor allem die unterirdischen Organe in dem stagnierenden Wasser nur sehr wenig Sauerstoff.

Es sei weiter darauf hingewiesen, daß die Anhängsel der Stigmarien (vergl. S. 122), die doch den Wurzeln unserer heutigen Pflanzen entsprechen, nur je einen

Digitized by Google

sehr schwachen wasserleitenden Zentralteil besitzen. Dies zeigt deutlich, daß sie in einem wasserreichen Untergrund gelebt haben, denn eine Pflanze, die — wenn auch nur vorübergehend — unter Wassermangel zu leiden hat, braucht ein leistungsfähiges Wasserleitungssystem, das die Gewähr gibt, im günstigen Augenblick den Wasserbedarf durch energische Zuleitung decken zu können. Eine Pflanze, die stets im Feuchten steht, bedarf aber solcher Wasserleitung nicht, denn ihr Verbrauch kann durch einen regelmäßigen langsamen Strom ständig ersetzt werden.

Gerade die Lepidophyten, die die soeben erwähnten unterirdischen Organe besitzen, haben nun aber an ihren Blättern eine Vorkehrung gegen zu starke Verdunstung (vergl. S. 153). Die Atemöffnungen der Blätter, die Stomata, befinden sich häufig (anders als dies gewöhnlich der Fall ist) in zwei auf den Unterseiten der Blätter rechts und links etwa parallel der Mittelader verlaufenden Längsrinnen, in denen sich Wasserdampf ansammelt, der eine weitere allzu schnelle Verdunstung verhindert. Man bezeichnet solche Einsenkungen als äußere Atemhöhlen. Wären die äußeren Atemhöhlen in diesem Fall nur deshalb entstanden, weil gelegentliche zu starke Sonnenbestrahlung trotz reichlich vorhandenen Wassers es doch unmöglich macht, daß hinreichende Mengen von Flüssigkeit schnell genug an die Stellen des Bedarfs transportiert werden können (vergl. S. 154), so begreift man nicht recht, warum sich dann nicht zunächst die wasserleitenden Bahnen erweitert haben. Man müßte denn annehmen, es habe der ganzen Struktur der Pflanze nähergelegen, sich in der anderen, uns umständ-

Digitized by Google

licher erscheinenden Richtung zweckmäßig zu gestalten. Gewöhnlich pflegt es doch aber so zu sein, daß die Entwicklung denjenigen Weg geht, der auch nach menschlichem Ermessen als der einfachere bezeichnet werden kann.

Eine besondere Anpassung der Moorpflanzen an ihren Standort ist der „Etagenbau". Dieser entsteht dadurch, daß die Pflanze die Fähigkeit besitzt, nach Maßgabe der ständigen Anhöhung des Torfs ihre Wurzeln dahin zu verlegen, wo für diese die günstigsten Bedingungen bestehen. Hat sich der Torf um ein gewisses Stück angehöht, so werden die Wurzeln einer mehrjährigen Pflanze immer mehr vom Sauerstoff abgeschlossen worden sein. Dies muß ihre Lebenstätigkeit wesentlich einschränken. Die Pflanze bildet deshalb ein Stückchen über den ersten Wurzeln neue, die sich nun wieder in denkbar günstigster Lage befinden und die ersten, allmählich erstickenden in ihrer Funktion ablösen. Wir erhalten so übereinander mehrere Etagen von Wurzelabzweigungen, die in denjenigen Fällen, wo der Stamm der Pflanze, wie z. B. beim Schilfrohr, Knoten besitzt, jedesmal von diesen Knoten ausgehen.

Die unterirdischen Organe derjenigen Pflanzen, die keine Etagen anlegen können, werden von dem sich anhöhenden Torf erstickt und müssen eingehen, wodurch natürlich die ganze Pflanze stirbt. Diesen Fall haben wir bereits bei den Krüppelkiefern unserer Hochmoore kennengelernt.

Ebenso wie unter anderem das Schilfrohr, haben nun auch die Schachtelhalme des Karbons, die Kalamariazeen, oft eine sehr große Anzahl von solchen

Digitized by Google

Wurzeletagen. Auch hier finden sich die Wurzelabzweigungen an den Knoten.

Ein gleichfalls sehr charakteristisches Verhalten der unterirdischen Organe von Karbonpflanzen beobachten wir an den uns schon anderweitig interessant gewesenen Stigmarien. Sie breiten sich horizontal, fast parallel zur Oberfläche des Bodens aus, in dem sie gewachsen sind. Dasselbe haben wir bei den Wurzeln unserer einheimischen Moorbäume gesehen. Tafel I zeigt neben der Stigmaria zum Vergleich eine kleine Hochmoorkiefer, die ebenfalls horizontal streichende unterirdische Wurzeln besitzt. Höchstwahrscheinlich ist es wieder das Luftbedürfnis, das für die pflanzlichen Organe die Veranlassung war, tiefere Schichten möglichst zu meiden. Verhalten sich doch die Wurzeln der in lockeren, luftdurchlässigen Böden wachsenden Pflanzen ganz anders. Man erinnere sich nur an manche Wüstenpflanzen. Ihre Wurzeln gehen senkrecht in die Tiefe und werden nach Volkens manchmal zwanzigmal so lang wie die Pflanzen, zu denen sie gehören. Fand man doch bei Gelegenheit der Ausschachtung des Suezkanales auf dessen Sohle Wurzeln, die zu hoch oben auf seitwärts gelegenen Höhen wachsenden Bäumen gehörten. Man hat darauf hingewiesen, daß die Wurzeln von Sumpfpflanzen im Gegensatz zu den Wüstenpflanzen ja gar nicht größere Tiefen aufzusuchen brauchten, da ihnen schon oben hinreichende Mengen Wassers zu Gebote ständen. Nachdem wir aber gehört haben, wie sauerstoffbedürftig die Wurzeln sind, werden wir dem Streben nach Sauerstoff mehr Gewicht beilegen dürfen.

Digitized by Google

Ein weiterer Grund der horizontalen Ausdehnung der Wurzeln könnte aber vielleicht noch der sein, daß den Pflanzen auf dem weichen Untergrund ein festerer Stand nötig ist. Die großen Bäume werden schwerer und versinken. Sie würden umfallen, wenn sie nicht unterirdisch nach allen Seiten hin verankert wären.

Ähnlich könnte man sich die mächtigen Stammverdickungen erklären, die den Nyssabäumen amerikanischer Sumpfflachmoore ihr geradezu abenteuerliches Aussehen verleihen. Diese Bäume heben sich mit mächtigem Stammumfang aus dem Boden empor und verkleinern dann plötzlich den Stammdurchmesser auf ein Drittel oder auf die Hälfte dessen, was die Basis mißt. Es läßt sich annehmen, daß diese kolossale Masse des Stammgrundes ähnlich wirkt wie der verdickte Boden eines Scherzartikels, nämlich der „Stehaufgläser".

Bei Bäumen der Steinkohlenformation, den Lepidophyten, kommen solche Stammverdickungen gleichfalls vor. Sie scheinen mit Vorliebe denjenigen Teil des Stammes einzunehmen, der häufig durch Überschwemmungen unter Wasser gesetzt wird. In einigen Fällen hat man bei rezenten Pflanzen diese Stammverdickungen genauer untersucht, und es hat sich gezeigt, daß der Stamm hier aus einem lockeren, mehr luftdurchsetzten Gewebe besteht als in seinen anderen Teilen. Dies leitet auf einen weiteren Gedanken, der zum Verständnis der seltsamen Bildung beitragen kann. Die dem stagnierenden Wasser mangelnde Luft wird vielleicht durch die innerhalb des Stammes gespeicherte Luft ersetzt. Jedenfalls kommt man zu dieser Anschauung, wenn man eine im Tropengebiet Südamerikas vorkommende

Digitized by Google

Staude betrachtet, die den wissenschaftlichen Namen Jussiaea peruviana trägt. Die Pflanze kommt in Tümpeln vor und besitzt Laubsprosse, die teils unter Wasser, teils in der über diesem befindlichen Luft leben. Es muß uns nun lebhaft interessieren, daß die Sprosse unterhalb des Wassers verdickt sind, während die sich oberhalb des Wasserspiegels befindenden Teile wesentlich dünner bleiben. Diese Pflanze hat nun noch besondere Wurzeln, die lediglich der Atmung dienen und von gewissen wagerecht im Boden kriechenden Stengelorganen, den Rhizomen, abzweigen und aufwärts ragen. Dies zeigt, wie ein Luftmangel ausgeglichen werden soll, und so kommen wir schon deshalb auf die eben erwähnte Erklärung.

Die Lepidophytenstämme scheinen von oben bis unten Luftgewebe besessen zu haben. Das fügt sich unseren Anschauungen ausgezeichnet. Diese Baumstämme besitzen in der sehr dicken Rinde Stränge von lockerem Gewebe, das sich wegen seiner zarten Struktur in vielen Fällen nicht oder doch nur teilweise erhalten hat.

Die in Rede stehenden Anschwellungen der Basalteile von Lepidophytenstämmen sind bisher niemals in einem Erhaltungszustand gefunden worden, der ihre anatomische Untersuchung gestattet hätte, doch dürfen wir wohl annehmen, daß auch hier, wie in dem besprochenen Fall aus der heutigen Pflanzenwelt, besonders viel lufthaltiges Gewebe vorhanden war. Diese Annahme wird noch durch eine andere Tatsache unterstützt. Auf der Stammanschwellung der Lepidophyten befinden sich nämlich besonders große und zahlreiche

Digitized by Google

lentizellenartige Gebilde, wie wir sie als Atemöffnungen kennengelernt haben.

Auch die Schachtelhalme des Karbons besitzen im unteren Teil ihres Stammes ausgedehntere Lufträume als in dessen anderen Teilen und deuten so gleichfalls darauf hin, daß sie wohl — ebenso wie die ähnlich gebauten Pflanzen der Jetztzeit — mit ihrem Fuß meist im Wasser gestanden haben. Die Steinkerne der Stammbasen solcher Kalamariazeen zeigen eine spindelförmige Anschwellung. Diese Steinkerne sind die erstarrten Schlammausgüsse derjenigen Hohlräume, die einst vom zarten Mark des Schachtelhalmstammes erfüllt waren. In älteren Kalamariazeenstämmen wird wahrscheinlich schon zu ihren Lebzeiten kein Mark mehr vorhanden gewesen sein, so daß eine zusammenhängende Lufthöhlung bestand.

Auch Pneumatophoren, wie wir sie im Tropenmoor kennengelernt haben (S. 151), scheinen im Karbonmoor vorhanden gewesen zu sein. Es finden sich jedenfalls Stümpfe, die man zunächst für die Steinkerne von Baumstümpfen halten könnte. Diese Stümpfe besitzen jedoch dieselbe kegelförmige Gestalt wie die Pneumatophoren, so daß es nicht allzu fern liegt, solche Atemorgane auch für gewisse Bäume der Karbonmoore anzunehmen. Die vermutlichen Pneumatophoren unterscheiden sich von den regulären Baumstümpfen zumal dadurch, daß sie niemals, auch nicht im günstigsten Erhaltungszustande die für die Baumstümpfe charakteristischen Blattnarben zeigen (vergl. Tafel III).

Vom Tropenmoor haben wir gehört, daß dort alle Bäume eine mit anderen Bäumen verglichen sehr glatte

Digitized by Google

Rinde haben; dasselbe gilt von den Karbonpflanzen. Der Grund hierfür liegt wohl darin, daß eine Borke, wie sie bei rauhen Stämmen vorkommt, weder hier noch dort nötig ist, da die Borke ja die Aufgabe hat, eine zu starke Wasserverdunstung zu verhindern. Dies wird aber bei feuchtem Boden und bei feuchter Luft überflüssig. Wieder fragen wir uns, warum haben aber die Blätter dieser selben Bäume Vorkehrungen gegen zu starke Verdunstung gehabt? Vielleicht tatsächlich nur, um die Verdunstungskälte zu vermeiden, die gerade diesen Organen besonders schaden mußte. Gehen doch die Prozesse, die sich im Pflanzenblatt abspielen, bei bestimmten Temperaturen (dem Assimilationsoptimum) am besten vor sich (vergl. auch S. 153).

G. Haberlandt sagt: „Wie sehr eine vertrocknete Gewebeschicht, mag sie früher dem saftigsten Parenchym angehört haben, die Transpiration herabsetzt, beobachten wir an jedem angeschnittenen Apfel, dessen Transpirationsverluste täglich abnehmen." Wenn die Borkenbildung eine spätere Anpassung ist (und das ist wahrscheinlich), so war bei den Karbonpflanzen jedenfalls noch keine Veranlassung, diese Anpassung zu gewinnen.

Es könnte sein, daß es auch Karbonpflanzen gegeben hat, die mit Luftwurzeln ausgestattet waren. Jedenfalls gibt es hierauf hinweisende Reste oberirdischer Pflanzenteile, wie z. B. die Subsigillaia Brardi. Sie besitzen allerdings sehr selten unter den Blattnarben noch andere Narben, die denen der Anhängsel der unterirdischen Organe — also der Stigmarien — sehr ähnlich sind.

Digitized by Google

Noch etwas anderes kann unsere Annahme stärken, die Steinkohlenlager seien fossile Moore. Die Pflanzenfamilien, die die Hauptsache der Karbonflora ausmachen, die Farne, die Schachtelhalme und die Bärlappgewächse, sind auch in ihren heutigen Nachkommen im wesentlichen auf feuchte Standorte beschränkt. Und in der Tat: wenn wir die Pflanzenformen der Tafel III nur oberflächlich betrachten, so sagt uns schon unser Gefühl, daß diese Pflanzen nicht nur in einem tropischen Klima gelebt haben müssen, sondern daß auch ihr Standort ein sehr feuchter gewesen sein muß. Unser Gefühl entstammt ja aber auch der durch das bisher Geschaute bedingten Gewohnheit.

Auf dem kleinen Vegetationsbild befindet sich nichts, was reiner Phantasie entsprungen wäre. Wie ein Kind sein Setzespiel zusammenstellt, um aus oft nichtssagenden Stücken ein zusammenhängendes Bild zu gestalten, so sind für die Vegetationslandschaft aus der Steinkohlenzeit jene Bruchstücke zusammengesetzt worden, die uns aus den Schichten jener Zeit erhalten geblieben sind. Allerdings ist es oft nicht leicht gewesen, das Richtige zusammenzufinden. Der Gelehrte läuft leicht Gefahr, abenteuerliche Mißgestalten zu konstruieren, und erst mancher glückliche Fund mußte gemacht werden, um zur richtigen Erkenntnis zu gelangen.

Wir haben uns im Laufe unserer Betrachtung vornehmlich für alles das interessiert, was in mehr oder minder enger Beziehung zur Steinkohle steht, denn die Steinkohle ist ja für den Menschen schon seit langer Zeit von der allergrößten Bedeutung. Deshalb soll

Digitized by Google

nur ein kurzer Blick auf diejenigen Pflanzengemeinschaften fallen, die die späteren Moore belebt haben.

Besonders charakteristisch für das Mesozoikum, speziell für die Juraformation, sind die zu den Nacktsamern gehörenden Zykadophyten (Palmfarne und Verwandte), deren große, lederige, wedelförmige Blätter als Kranz- und Sargschmuck (Zykaswedel) allbekannt sind.

Zum Schluß kommen wir mit Beginn der Neuzeit zu den Pflanzen, die auf den Mooren der Braunkohlenzeit, des Tertiärs gegrünt haben. Hier ist viel leichter festzustellen, daß diese Pflanzenwelt unbedingt eine Moorvegetation gewesen ist. Viele Braunkohlenpflanzen sind der Jetztzeit überkommen. Wir finden sie auch heute noch u. a. in Sumpfflachmooren, also in demselben Moortypus, in dem auch derjenige fossile Torf entstanden ist, den wir heute als Steinkohle bezeichnen. Gewisse Moore der Braunkohlenzeit werden also kaum anders ausgesehen haben als z. B. die Zypressensümpfe Nordamerikas. E. Deckert gibt eine Schilderung dieser Gelände. Er schreibt: „Sie bilden mit ihrem herrlichen Baum- und Strauchwuchse und ihrem Gewirr von Schling- und Kletterpflanzen die ästhetischen Glanzpunkte der Niederungslandschaft.“ „Der gewaltige Artenreichtum der nordamerikanischen Flora ist vor allem darauf zurückzuführen, daß darin eine große Zahl mitteltertiärer Pflanzen erhalten geblieben sind, die in Europa ausstarben, darunter die Magnolien, der Liquidambar, der Sassafras, die Katalpa, die Sumpfzypresse (Taxodium) und andere. Die Eiszeit richtete in Nordamerika keine so großen Verheerungen in der Pflanzenwelt an wie in Europa, weil Nordamerika infolge

Digitized by Google

seiner anderen Bauart, besonders infolge des Mangels ostwestlich gerichteter Gebirge den Pflanzen den Rückzug nach Süden besser ermöglichte. Das hat Asa Gray sehr schön und überzeugend auseinandergesetzt."

Fassen wir nun kurz zusammen, was uns die Betrachtung der verschiedenen Floren gelehrt hat.

Die Karbonmoore, die uns fossil als Steinkohlenlager erhalten blieben, ähneln außerordentlich den Sumpfflachmooren unserer heutigen Tropen. Überhaupt besteht der Unterschied zwischen den Mooren von heute und allen denen, die uns aus der Vorzeit irgendwie wie bekannt geworden sind, lediglich in der Verschiedenheit der auf ihnen wachsenden Pflanzenarten. Alle uns fossil entgegentretenden Moore sind insofern ein und dasselbe, als ihr Torf vorwiegend aus Sumpf- und Wasserpflanzen zusammengesetzt ist, das heißt also: er besteht aus Pflanzen, die durch ihren Standort zu besonders reichlicher Humusbildung prädestiniert waren.

Der Gedanke, daß es „heimatliche" Wesen sind, die uns so fremd anmuten, drängt zum Vergleich der fernsten Vergangenheit mit der Gegenwart, damit aber unwiderstehlich zu der naheliegenden Frage: Wie wird es einst werden?

Nur allmählich haben sich die Erdpole abgekühlt, so daß sich die Pflanzen nach Maßgabe der Wärmeabnahme nach und nach gegen den Äquator zurückzogen. Noch zur Braunkohlenzeit, während der sich klimatische Verschiedenheiten auf unserem Erdball immer bemerklicher machten, zeigte daher z. B. das norddeutsche Gebiet ein wärmeres Klima als jetzt und die Pflanzenwelt besaß ein entsprechendes Gepräge.

Digitized by Google

Gegen Ende der Braunkohlenzeit war ungefähr der heutige Wärmegrad bei uns erreicht; er blieb aber nicht etwa bis heute der gleiche, sondern er nahm immer weiter ab, und zwar so weit, daß unsere Heimat schließlich ein eisbedecktes Gebiet wurde. Es trat eine viele Jahrtausende währende Eiszeit ein, deren hinterlassene Spuren, da sie verhältnismäßig jung sind, sich in unserem Flachlande vielfach und auffallend kundgeben. Auch Pflanzen aus jenen kalten Zeiten haben sich bei uns gehalten. Es sei nur an die Hochmoorpflanzen erinnert (S. 53).

Wann haben sich die größten Moore gebildet?

In allen Formationen findet sich Kohle. Dies erscheint begreiflich, denn die Bedingungen, unter denen Torf entstehen kann, sind ja recht einfache, oder besser: diese Bedingungen konnten sehr leicht und zu allen Zeiten immer wieder erfüllt sein.

Es gibt aber gewisse Erdschichten, in denen sich besonders viel Kohle findet, und zwar sind dies die Schichten des Oberkarbons, des Tertiärs und der Juraformation. Namentlich die beiden erstgenannten Formationen, die man ja auch als Steinkohlen- und Braunkohlenformation bezeichnet, veranlassen deshalb zu der Frage: warum fand in diesen Zeiten eine so besonders starke Humusproduktion statt?

Die Wandlungen der einmal erkalteten Erdoberfläche gingen nicht in gleichmäßigem Tempo vor sich. Nur zu gewissen Zeiten bildeten sich größere Gebirge und senkten sich andere Teile der Erdkruste. Gerade

Digitized by Google

die Karbon- und die Tertiärzeit waren solche Zeiten besonders starker Gebirgsbildung.

In der Tat können wir denn auch hiermit die besonders starke Torfproduktion in Beziehung bringen. Noch heutzutage läßt sich beobachten, daß gerade in den Tälern, die sich neben hohen Bergen befinden, besonders gern Moore entstehen. An den Bergen schlägt sich das Wasser nieder, das hernach die vermoorenden Gelände vernäßt. So sehen wir es jedenfalls am Skandinavischen Höhenzug und auch am Nordrande der Alpen. Hier wie dort sind Moore besonders verbreitet. Übrigens wurde schon weiter oben darauf aufmerksam gemacht, daß in einem sich ständig senkenden Gebiet, dessen Oberfläche trotz der Torfanhöhung dauernd ein wenig unter dem Grundwasserspiegel verbleibt, außerordentlich mächtige Torflager entstehen können. Solche Landsenkungen sind aber mit der Entstehung von Gebirgen eng verknüpft. Nach dem Gesagten braucht also in Senkungsgebieten die Torfbildung erst dann aufzuhören, wenn auch der Senkungsvorgang sein Ende findet. Hört die Senkung auf, so wird sich der Torf durch Anhöhung über den Grundwasserspiegel erheben, und es wird sich unter Umständen ein Hochmoor bilden. Wo aber eine Landsenkung schneller vor sich geht, als der Torf sich zu bilden vermag, da werden sich in dem entstehenden Gewässer, auf dessen Grund der Torf jetzt geraten ist, Sedimente absetzen und den Torf bedecken. Vielleicht bildet sich auch ein Sapropelit. Erst wenn sich die Geschwindigkeit des Senkungsprozesses wieder verlangsamt, wird sich das Gewässer wieder füllen können, und

Digitized by Google

dann wird wahrscheinlich eine neue Torfbildung einsetzen. So kommt es, daß wir heute Profile beobachten können, in denen Kohlenflöze mit Sedimentärgesteinen zu vielfach wiederholten Malen miteinander abwechseln. Häufig werden unter ähnlichen Verhältnissen auch größere Mengen von Tonen und Sanden eingeschwemmt werden können, die dann dem Profil weiteren Wechsel verleihen.

Nachdem uns dieser Entwicklungsgang klar geworden ist, verstehen wir, warum sich in den über und unter den Steinkohlenlagern befindlichen Gesteinen — in den Zwischenmitteln, wie man sie nennt — bald die Reste von Meerestieren, bald diejenigen einer Süßwasserfauna oder auch überhaupt keine tierischen Reste finden. — Je nachdem die geschilderte Entwicklung in der Nähe der See oder auf dem Kontinent stattfand, unterscheidet man nach diesen tierischen Resten „paralische", d. h. küstennahe, und „limnische", d. h. küstenferne Kohlenreviere.

Welcher Nutzen entsteht dem Bergbau aus der Kenntnis der fossilen Pflanzen?

Wo sich fossile Torflager finden, wechseln sie, wie schon gesagt, meist in gleichmäßiger Folge mit Tonschiefern und Sandsteinen ab. Dies beweist, daß sich die Gelände der Kohlenproduktion als Ganzes ziemlich gleichmäßig gesenkt haben. Nur gelegentlich wurde die langsame gleichmäßige Sedimentation durch schnellere Ablagerung unterbrochen. Auch heute noch kommt bei Überschwemmungen derartiges vor. Größere, aufrechtstehende Baumstämme würden sich sicher nicht er-

Digitized by Google

halten haben, sondern wären in der freien Luft der Verwesung anheimgefallen, wenn sie nicht auf solche Weise gelegentlich schnell eingebettet und von der Luft abgeschlossen worden wären. Der Torf vermag sich bekanntlich so schnell nicht anzuhöhen.

Wie unendlich lange Zeit vermutlich schon die Ablagerung derjenigen Schichten dauerte, die heute als produktives Karbon bezeichnet werden, das zeigt uns die Tatsache, daß sich während der vielen der Geschichtsforschung zugänglichen Jahrtausende kaum eine wesentliche Weiterentwicklung der Organismenwelt bemerkbar gemacht hat, während sich im Verlaufe des produktiven Karbons solche Weiterentwicklung sogar in recht weitgehendem Maße beobachten läßt. Wir dürfen getrost sagen: die uns bekannte Periode menschlicher Geschichte ist bei weitem zu kurz, um einen Maßstab für jene gewaltigen Zeiten abgeben zu können, die während der in Rede stehenden geologischen Entwicklungen verstrichen.

Ehe man ein Steinkohlenbergwerk anlegt, um unter Tage befindliche Flöze abzubauen, will man natürlich wissen, ob das vermutete Steinkohlenvorkommen abbauwürdig ist oder nicht. Es werden deshalb mittels des Diamantbohrverfahrens Bohrungen vorgenommen.

Diese Tiefbohrmethode, die Kernbohrung, wird mit Hilfe eines stählernen Bohrzylinders ausgeführt. Am unteren Ende dieses Bohrzylinders wird die Bohrkrone befestigt, ein mit schwarzen Diamanten besetztes Stahlzylinderstück. Die Diamanten sind in einer Weise

Digitized by Google

kreisförmig angeordnet, die sie — bei Drehung des Zylinders um seine Achse — das Gestein des Gebirges aufarbeiten läßt, so daß der Zylinder langsam tiefer und tiefer dringt, denn der Diamant ist bekanntlich das härteste Mineral, das wir besitzen. So gerät in den Bohrzylinder der Bohrkern, der durch eine Klemmvorrichtung festgeklemmt, abgerissen und zutage gefördert wird.

Das tiefste Bohrloch, das vor dem Kriege niedergebracht worden ist, befindet sich im produktiven Karbon von Czuchow in Oberschlesien. Man hat dort einen Bohrkern gewonnen, dessen Länge etwa $2^1/_4$ km beträgt. Neuerdings ist in Amerika noch tiefer gebohrt worden, und zwar in der Nähe von Fairmont im Staate Westvirginia. Dieses Bohrloch hat eine Tiefe von 2311 m, während das bei Czuchow nur 2240 m mißt. Das zweittiefste Bohrloch von 2252 m befindet sich ebenfalls in Amerika, bei Clarksburg. Was die Förderschächte betrifft, so sind die westfälischen die tiefsten Deutschlands, sie haben jedoch noch nicht mehr als etwas über 900—1000 m Tiefe erreicht. Wesentlich größere Tiefen sind dagegen im amerikanischen Kupferbergbau erreicht worden. So soll die Quincy Mining Co. 2213 m tief gegangen sein.

Im produktiven Karbon kann man nun beispielsweise durchschnittlich alle 50 m auf ein Kohlenlager treffen. Die Mächtigkeit der Lager ist ganz verschieden. Wo viele Kohlenlager vorhanden sind, erblickt man bei der Untersuchung des Bohrkernes in den zwischen den Kohlenlagern befindlichen Schiefertonen eine Unzahl oft ausgezeichneter Pflanzenabdrücke,

Digitized by Google

die in ihrer verwirrenden Mannigfaltigkeit zunächst den Eindruck gewähren, als sei die Flora, der sie entstammen, im ganzen produktiven Karbon durchschnittlich dieselbe gewesen. Außer den häufigen Stigmarien (vergl. Taf. I), die fast stets vorhanden sind, finden sich Steinkerne, Rinden, Abdrücke der Oberflächen von Stämmen, Stamm- und Wedelstielstücke, Blatt- und Blütenreste, Samen und vieles andere.

Es ist nun von Wert festzustellen, in welchem Teil der mehreren hundert Meter, die während der Zeit des produktiven Karbons abgelagert worden sind, eine Bohrung steht. Mit Hilfe der aufgefundenen Fossilien kann man mehrere Bohrungen miteinander vergleichen, und zwar deshalb, weil man allmählich ermittelt hat, welche Fossilien für bestimmte Altershorizonte charakteristisch sind. Man ist sich über die „Leitfossilien" klar geworden. Solche Leitformen beschränken sich aber niemals auf einen ganz bestimmten Teil des produktiven Karbons. Sie haben sich einst nur ganz allmählich eine herrschende Stellung innerhalb der Flora erworben und sind dann später auch ebenso langsam wieder verschwunden. Dies hat wohl oft unendlich lange Zeiten durchdauert, weshalb man bei der Bestimmung der Horizonte ein großes Gewicht auf die relative Häufigkeit eines Fossils legen muß. Aus diesem Grunde muß man einen Bohrkern ganz und gar untersuchen; denn sonst kann man nicht einwandfrei feststellen, wo die Zone der größten Häufigkeit einer Pflanzenart liegt.

Genau dasselbe, was wir hier im produktiven Karbon beobachten, findet der Pflanzengeograph auch

Digitized by Google

noch heute. Nirgends erscheint eine Pflanze mit einem Schlage, und ebensowenig kommt es vor, daß sie plötzlich verschwindet. Hier oder dort fristet sie oft noch längere Zeit ihr Dasein. So sei nur an den Ginkgobaum erinnert (S. 167). Er ist wohl durch die Kultur der Japaner, die ihn als heiligen Baum verehren und ihn in die Nähe von Tempeln pflanzen, in die Jetztzeit herübergerettet worden. Nirgends kommt dieses fremdartig anmutende Gewächs, wie es scheint, in der Wildnis vor. Die Gestalt seiner Blätter erinnert den Paläobotaniker an manchen fossilen Fund, denn einstmals hatte die Familie der Ginkgoazeen viele voneinander abweichende Vertreter.

Bei der Untersuchung eines Bohrkerns finden wir nun genauer folgendes. Es sind immer nur einzelne Arten, die einen bestimmten Horizont beherrschen, und deshalb empfinden wir um so deutlicher, daß die verschiedenen Floren allmählich ineinander übergehen. Eine Art wird innerhalb der mehr oder minder gleichbleibenden Mannigfaltigkeit langsam häufiger, um dann nach einer Zeit der Herrschaft ebenso langsam wieder zu verschwinden. Inzwischen hat irgendwo eine neue Art eingesetzt, und dasselbe Spiel hebt von neuem an.

Schon wenn eine einzige Art neu auftritt, kann und muß man also mit vollem Recht von dem Beginn einer neuen Flora reden: die vorige Flora unterscheidet sich eben durch das Fehlen der betreffenden Art.

Als Beispiel das Folgende: die Flora Norddeutschlands besitzt eine große Anzahl überall vorhandener Arten, und doch spricht man hier mit Recht von einer Flora des östlichen Teils im Vergleich zu einer solchen

Digitized by Google

des westlichen Teils. Auch wir werden daher den Begriff der „Flora“ anwenden, sobald wir einen floristischen Unterschied kennzeichnen wollen, den wir nach irgendeiner Richtung hin — in unserem Fall speziell bei der Horizontierung — gebrauchen. Der Begriff „Flora“ ist eben durchaus relativ und an keine bestimmte Anzahl von Arten geknüpft, die in dem einen Gebiet oder in unserem Fall in einem bestimmten geologischen Schichtenkomplex vorkommen, während diese Arten in den benachbarten Gebieten oder Schichten fehlen. Gehen wir anders vor, so geraten wir in vollkommene Willkür hinein, und wollen wir diejenigen paläozoischen pflanzenführenden Horizonte, die denselben floristischen Gesamtcharakter haben, aber durch einige wenige Arten abweichen, nicht als „Floren“ unterscheiden, so müssen wir logisch das gesamte Paläozoikum als nur eine einzige Flora enthaltend ansehen, weil zwar ein Vergleich zeitlich sehr auseinanderliegender Horizonte auch sehr voneinander abweichende Pflanzentypen aufweist, die sie trennenden Horizonte jedoch diese beiden Floren so miteinander verknüpfen, daß nirgends eine scharfe Grenze bemerkbar ist.

Je mehr Arten vorliegen, um so sicherer läßt sich natürlich ein Horizont festlegen, um so besser läßt sich ein bestimmter kleinerer Schichtenkomplex hinsichtlich seines relativen Alters einengen.

Abgesehen von mancher Schwierigkeit, die der Untersuchung in Spezialfällen begegnet, stellt sich das Prinzip der in Rede stehenden Untersuchung etwa so dar, daß man aus der Reihenfolge des Auftretens der verschiedenen Leitformen ersehen kann, in welchem

Digitized by Google

Teil des produktiven Karbons sich ein Flöz befindet. Hat man z. B. in einem Revier zwei Bohrungen ausgeführt und werden dann auf Millimeterpapier für jede der beiden Bohrungen relative Linien eingetragen, deren jede die Tiefe angibt, in der eine Leitform auftrat und bis zu der sie zu finden war, so wird uns ein Vergleich der für beide Bohrungen eingetragenen Linien darüber aufklären, bei welcher Bohrung die Schichten die geringere Mächtigkeit haben.

Es ist meistens nicht möglich, einzelne Kohlenlager auf Grund der Pflanzenreste zu identifizieren; nur ganze Schichtenkomplexe lassen sich floristisch zusammenfassen, und zwar im produktiven Karbon speziell des Saarreviers auf Grund der Leitfossilien zunächst fünf solcher Komplexe. Freilich liegen die floristischen Grenzen zuweilen nicht dort, wo der Bergmann eine Scheidung vornimmt, wenn es auch meistens der Fall ist. Denn der Beweggrund, die gesamten kohlenführenden Schichten eines Reviers zu gliedern, liegt wie im Ruhr- und Saarrevier u. a. in der Wertigkeit der Kohlenlager der einzelnen Horizonte für die Praxis. Die Beschaffenheit der Lager hat aber mit den Floren, die die jetzt fossilen Moore zu ihren Lebzeiten trugen, gar nichts zu tun. Vielmehr hängt die Beschaffenheit der Kohlenlager, wie schon früher betont wurde, in erster Linie ab von dem Abschluß oder Zugang der Atmosphärilien im Laufe der Zeit. Nur die aus Sapropel hervorgegangenen zeigen natürlich wesentliche Abweichungen in ihrer Zusammensetzung gegenüber den aus Landpflanzen hervorgegangenen Kohlen, die auf der stofflichen Verschiedenheit der Landpflanzen von den Sapropelbildnern beruht.

Digitized by Google

Wenn wir nun die Pflanzen eines Bohrkerns (z. B. in den Saarbrücker Schichten des Saarreviers) durchsehen, so haben wir außer den durch die ganze Bohrung (soweit es sich um Schichten des produktiven Karbons handelt) gehenden Arten (wie z. B. Sphenophyllum cuneifolium und Calamites Suckowi) und außer den nur vereinzelt auftretenden Resten eine Reihe von solchen, die bestimmte Strecken des Bohrkerns ausschließlich oder hervorragend auszeichnen, so in unserem Fall unter anderen

in den unteren Teufen . .	Sphenophyllum myriophyllum
später einsetzend	Sphenopteris Sauveuri
noch später einsetzend und höher hinaufgehend . . .	Palaeoweichselia Defrancei
noch weiter oben	Neuropteris Scheuchzeri
und wieder später einsetzend gewisse	Pecopteriden

usw. usw.

Wenn wir nun mit den bereits gesammelten Erfahrungen an die Beurteilung dieser Tatsachen für eine Horizontierung im Kern herantreten, so läßt sich auf Grund der im Kern gefundenen Reste der Horizont feststellen, weil die gefundenen Reste in derselben Folge auch in den schon bekannten Aufschlüssen auftreten.

Schwierig wird ein Vergleich von Bohrungen, die in gänzlich verschiedenen Revieren gemacht worden sind, da ja damals wie heute die Flora Deutschlands in verschiedenen Gegenden gewisse Verschiedenheiten aufwies.

Digitized by Google

Die fossilen Liptobiolithe.

Wenn man die Pflanzenarten jüngerer Formationen mit denen älterer geologischer Epochen vergleicht, so findet man, daß ständig eine Entwicklung vom Einfacheren zum Verwickelteren stattfand, eine Entwicklung, die sich im Prinzip dadurch kennzeichnet, daß zwischen den einzelnen Teilen eines Pflanzenkörpers eine immer weiter fortschreitende Arbeitsteilung vor sich gegangen ist.

Die Pflanzen des produktiven Karbons unterscheiden sich nun von denen der Tertiärformation infolge dieser Entwicklung auch in einem Punkte, der schon einmal unser Interesse erweckt hat (S. 103). Einzelne der im ganzen höher organisierten Pflanzen der Tertiärformation besitzen nämlich im Gegensatz zu denen des Karbons besondere harzausscheidende Organe. Jedenfalls scheint es, als ob im Karbon derartiges noch nicht oder nur untergeordnet vorhanden gewesen sei. Hiernach ist es nicht verwunderlich, daß im produktiven Karbon Lager von Liptobiolithen fehlen (vergl. S. 31).

Sicherlich ist es für eine Pflanze von Vorteil, Harz ausscheiden zu können, denn die Harze sind Mittel zum Wundverschluß. Jede Wunde, sei sie durch Windbruch oder durch Tierfraß entstanden, wird luftdicht abgeschlossen und so vor Nässe und anderen schädlichen Einflüssen bewahrt. Das Harz entwickelt sich in besonderen Räumen des Pflanzenkörpers, die sich stets da befinden, wo leicht Beschädigungen eintreten können, also z. B. in der Rinde der Stämme und Zweige.

Es ist interessant, daß sich in den aufrechten Baum-

Digitized by Google

stümpfen der Braunkohlenlager oft eine besonders harzreiche Kohle befindet. Vielleicht sind die zu diesen Stümpfen gehörenden Stämme vom Winde gestürzt worden, als sie noch lebten, aber schon altersschwach waren, so daß sich die Bruchfläche wie eine Wunde mit Harz bedecken konnte.

Schon aus dem über die heute entstehenden Liptobiolithe Mitgeteilten (S. 57) läßt sich schließen, daß sie besonders gern in bodenfremden Ablagerungen vorkommen, d. h. also, es handelt sich bei ihnen um anderswo entstandene Materialien, die sich später irgendwo angesammelt haben. Gerade bei einem Transport ist ganz hervorragend die Möglichkeit gegeben, daß sich fast alles (außer Harzen und ähnlichen Körpern) zersetzen kann.

Der Bernstein ist der bekannteste Liptobiolith. Sein Name kommt vom altdeutschen börnen (engl. burn), d. h. brennen. Sein griechischer Name Elektron ist ja allbekannt, denn in ihm hat das Wort Elektrizität seinen Ursprung; durch Reiben wird nämlich der Bernstein negativ elektrisch und zieht z. B. Papierschnitzelchen an.

Der Bernstein ist das erhärtete Harz ausgestorbener Nadelhölzer. Am berühmtesten ist der baltische Bernstein, der am häufigsten im Samlande Ostpreußens auftritt. Schon die Phönizier brachten ihn zu den Römern. „Der Bernsteinhandel", sagt Alexander v. Humboldt, „bietet uns in seiner ehemaligen Ausdehnung für die Geschichte der Weltanschauung ein merkwürdiges Beispiel von dem Einflusse dar, den die Liebe zu einem einzigen fernen Erzeugnisse auf die Eröffnung eines inneren Völkerverkehrs und auf die Kennt-

Digitized by Google

nis großer Länderstrecken haben kann. Derselbe setzte zuerst die Küsten des nördlichen Ozeans in Verbindung mit dem Adriatischen Meerbusen und dem Pontus."

Schon Aristoteles schloß aus den im Bernstein vorkommenden Insekten, daß dieser Stoff ähnlich dem Myrrha flüssig den Bäumen entquollen sein müsse. Ebenso meint Cornelius Tacitus, man erkenne den Bernstein als ein Baumharz, denn man sehe oft kriechende und sogar fliegende Insekten durchschimmern, die von der flüssigen Masse erfaßt, nachmals bei der Verhärtung eingeschlossen wurden. Tacitus fährt fort: „Ich denke mir, daß es, wie in den fernen Gegenden des Morgenlandes, wo Weihrauch und Balsam ausschwitzt, auch auf den Inseln und Küsten des Abendlandes fruchtbare Wälder und Haine gibt, wo Baumharz, durch die Strahlen der nahen Sonne ausgezogen und flüssig gemacht, ins nächste Meer hinabrinnt und durch Sturmgewalt an das gegenüberliegende Ufer geschwemmt wird."

Die „blaue Erde" des Samlandes enthält den Bernstein zusammen mit Holzstücken und Resten von Meerestieren. Alles dies ist vom Meerwasser zusammengeschwemmt und abgelagert worden. Der Bernsteinwald gehört der älteren Tertiärformation an. Wo sich der Bernstein in noch jüngeren Erdschichten findet, da ist er durch wiederholten Transport hingeraten; er befindet sich so oft an dritter und womöglich an vierter Lagerstätte. Die Schicht, die den Bernstein enthält, liegt meist unter dem Meeresspiegel, und zwar häufig direkt am Strande. Aber das Wasser arbeitet die den Bernstein enthaltende blaue Erde unablässig

Digitized by Google

auf, und da der Bernstein etwa dasselbe spezifische Gewicht hat wie das Ostseewasser, so wird er oft an den Strand geworfen.

Da auch diluviale Eismassen die bernsteinführenden Schichten vielfach zerstört haben, ist er wie die übrigen Geschiebe durch die Gletscher bis an den Fuß des Riesengebirges und unter anderm ja auch nach Berlin transportiert worden, wo er beim Bau der Untergrundbahn vielfach entdeckt worden ist.

Die Kiefernarten, die nach Conwentz wahrscheinlich den Bernstein hervorgebracht haben, sind alle unserer einheimischen Kiefer ungleich. Man schließt dies aus Holz-, Blatt- und Blütenresten. Es wird vermutet, daß wir auch das Harz einer Fichtenart als Bernstein finden.

Da die Bernsteinwälder — anders als unsere wohlgepflegten Forsten — wilde Urwälder waren, so verstehen wir die Äußerung von Conwentz, daß in jenen Wäldern kaum ein gesunder Baum gewachsen sei. Nichts hinderte Wind und Wetter an ihrem verwüstenden Werk, Fäulnis und Parasiten aller Art trugen zur Schwächung der Bäume bei, und ein Tierleben, wie es uns heute in kultivierten Gegenden kaum noch begegnet, trug nicht am wenigsten zu allerlei Beschädigungen bei. Mehr als dies heute der Fall ist, bot sich daher zu reichlichem Harzfluß Gelegenheit. Im weiteren reagierte die Natur dadurch auf jene besonders häufigen Beschädigungen, daß sie in den Bernsteinbäumen besonders viele harzausscheidende Organe anlegte. Wenn dann das klare Harz vielleicht die Oberfläche eines Stammes überzogen hatte, so blieben auf der

Digitized by Google

zähen Flüssigkeit vorüberfliegende Insekten oder Pflanzenteile leicht haften und wurden bei wiederholtem Fluß allseitig eingebettet. Diese durch wiederholten Fluß entstandenen geschichteten Stücke bezeichnet der Handel als „Schlauben". Da das Harz sehr dünnflüssig war, tropfte es aber gelegentlich auch von Ast zu Ast; es bildeten sich Zäpfchen, die ähnlich wie die Eiszapfen durch neu hinzukommendes Material an Dicke und Länge immer mehr zunahmen. Es läßt sich denken, daß auch hierbei vorüberfliegende Tiere oder Pflanzenteile leicht haften bleiben und oft besonders schnell eingeschlossen werden konnten (Fig. 12). Darum findet man auch vor allem in diesen Zapfen ganz hervorragend schön erhaltene Organismenreste.

Fig. 12. Blüte von Castanea inclusa Conw. als Bernsteineinschluß, unten vergrößert.

Man sollte meinen, daß sich bei dem scheinbar fast absoluten Luftabschluß diese Reste unzersetzt erhalten haben müßten. Aber erstens findet, wie wir wissen, unter solchen Umständen eine Selbstzersetzung statt, und zweitens ist das Harz keineswegs vollkommen undurchlässig. Wenn wir auch glauben, in einem Bernsteinstückchen ein vollständiges Insekt oder eine vollständige Blüte vor uns zu haben, so zeigt sich bei näherer Untersuchung doch nichts als ein außerordentlich feines, kaum nachweisbares Häutchen, das meist aus Chitin oder aus Kutin besteht. Dieses bekleidet so genau einen wohlgeformten kleinen Hohlraum, daß es von außen denselben Eindruck hervorruft wie etwa ein

Digitized by Google

in Spiritus aufbewahrtes Objekt. Wir erblicken aber in Wahrheit nur gleichsam noch den „Reflex“ oder den „Hauch“ dessen, was das Harz einst umschloß. Diese Tatsache zeigt uns besonders klar, wie außerordentlich schwer zersetzlich die Harze sind, haben sich doch die Einschlüsse des Bernsteins „durch das Harz hindurch“ zersetzt.

Wo das dünnflüssige Harz auf den Boden fiel und diesen verkittete, bildeten sich unförmige Massen, aus denen man den Bernsteinfirnis des Handels herstellt.

Was die Gewinnung des Bernsteins betrifft, so wurde ursprünglich nur der Seebernstein gewonnen, später erst wurde Bernstein gegraben. Das Fischen oder Schöpfen geschah zunächst einfach durch Kescher, jetzt durch Taucherei und Baggerei; aus den primitiven Grabungen hat sich der Bergbau entwickelt.

Es muß nun noch eine besondere Kohle besprochen werden, die den wissenschaftlichen Namen Pyropissit[1] erhalten hat. Diese Kohle kommt im Weißenfels-Zeitz-Altenburger Braunkohlenrevier vor. Sie ist im reinsten Zustand weißgelb bis rötlich. Einige Namen für dieses Gestein sind noch: Bergkalk, gelbe Braunkohle, graue Erdkohle, reine Schwefelkohle, Wachskohle und weiße Kohle. Die Technik gewann aus dieser Kohle — wie aus den Faulschlammgesteinen — Paraffin und Öl, und zwar um so mehr, je mehr Harz und Wachs sie enthielt. Die jetzige Industrie verwertet nicht so hochwertige, aber immerhin noch lohnende Schwelkohlen.

1 Vom Griech. pyr = Feuer und pissa = Harz, Pech.

Digitized by Google

Wie entstehen nun solche Ablagerungen besonders harzreicher Braunkohle? Eine Braunkohle, die aus einer besonders harzreichen Flora entstanden ist, enthält allerdings ohne weiteres noch nicht so viel Harz wie der Pyropissit. Wenn jedoch, wie in dem genannten Revier, solche besonders harzreiche, aber immerhin noch als normal zu bezeichnende Braunkohle vom Wasser aufgearbeitet und forttransportiert wird, so müssen sich die einzelnen Kohlenteilchen nach ihrem spezifischen Gewicht gesondert wieder ablagern. Wir haben davon im Laufe unserer Darstellung schon mehrfach erfahren. Die stark harzreichen leichteren Teilchen der Braunkohle konnten sich natürlich nur an einer ganz ruhigen Wasserstelle absetzen. Wenn beispielsweise das Harz unserer Kiefer verwittert, so wird es zu einem pyropissitähnlichen Staub. Solcher Staub wird es gewesen sein, der vom Wasser ausgeschlämmt worden ist. Daß sich gerade bei einem solchen Transport die feinen Braunkohlenteilchen im Gegensatz zum Harz teilweise zersetzen mußten, geht ja aus früheren Bemerkungen hervor (S. 57). Jedenfalls wird auch dieser Sachverhalt dazu beitragen können, daß das Harz in besonders reiner Beschaffenheit zur Ablagerung kommt.

Bemerkungen über Verwertung, Gewinnung und Vergeudung der Kohlen.

Welche Unsumme von Veränderungen in der ganzen Lebenshaltung der Völker hat die sich immer mehr steigernde Verwendung der Kohlen hervorgebracht! Immer wieder bezeichnet man deshalb die Kohlen mit Recht als die wichtigsten Gesteine, die uns Mutter Erde

Digitized by Google

zur Verfügung stellt. Sie sind eine Quelle konzentrierter Kraft sondergleichen durch die leichte Art, wie sie diese Kraft hergeben: braucht dieses brennende Gestein doch nur entzündet zu werden, um gewaltige Mengen von Wärme zu liefern, die die Technik je nach Bedarf in diese oder jene Kraft umsetzt. Auch die Quelle des zu Leuchtzwecken und des in der Technik als Heizmittel verwendeten Gases ist ja in überwiegenden Fällen die Steinkohle.

Da die Kaustobiolithlager im Verlaufe der geologischen Zeiten in die Tiefe geraten können, müssen sie unter Tage in der Erdkruste aufgesucht werden. Liegen sie noch verhältnismäßig günstig, so kann die Kohle nach Beseitigung der unter Umständen nur geringfügigen Decke ohne weiteres im „Tagbau" gewonnen werden, andernfalls muß der Abbau durch Schächte (senkrecht hinabgehende Gänge) und Stollen (wagerecht verlaufende Gänge) unterirdisch bewerkstelligt werden.

Tief unten hat die Kohle der Stunde geharrt, da der findige Mensch in selbstgegrabenen dunklen Schächten hinabstieg, um die Sonnenwärme, die die Pflanzenleiber einst im hellen Lichte des Tages aufgespeichert haben, wieder heraufzufördern und sich nutzbar zu machen.

Die Vorsichtsmaßregeln, die dabei zu befolgen sind, die Auszimmerung der Schächte und Stollen, sowie die sonstigen Maßnahmen, die getroffen werden müssen, damit das Bergwerk nicht zu Bruche geht, der Schutz vor den „schlagenden Wettern", den brennbaren, leicht entzündlichen Gasen, die durch die immer weitergehende Zersetzung der Kohlen abgegeben werden, und

Digitized by Google

vieles andere erfordert technische Kenntnisse, die zu einer wohlentwickelten Fachwissenschaft, der Bergbaukunde, geführt haben.

Soweit durch Beobachtungen festgestellt worden ist, können die Wetterexplosionen unserer Kohlenbergwerke auf mannigfaltige Weise ausgelöst werden. Einmal ist es das plötzliche Öffnen einer Gebirgskluft, der große Mengen von Gas entströmen, ein andermal die schlechte Ventilation der Stollengänge, so daß die mit Brenngasen geschwängerte Luft nicht beseitigt wird. Der Gebrauch von offenen Lampen, das unbefugte Öffnen der Sicherheitslampen oder sonst irgend etwas kann dann die Entstehung einer solchen Explosion herbeiführen. Auch ein niedriger Barometerstand kann auslösend wirken, denn ein geringerer Außendruck bedingt, daß mehr schädliche Gase das Gestein verlassen und an Stellen geraten, wo der Bergmann an der Arbeit ist. Endlich können dem Bergmann gelegentlich auch geringe Erdbeben als Ursache schrecklicher Wetterexplosionen gefährlich werden.

Von den vielen Gefahren, denen der Bergmann trotz unserer sich ständig mehr verfeinernden Technik immer erneut unterliegt, von all den bekannten plötzlich auftretenden Katastrophen, die ihn in der Tiefe bedrohen, werden die Schlagwetterexplosionen stets an erster Stelle zu nennen sein.

Viel ist versucht worden, um die Gefahr der „schlagenden Wetter" wenn nicht zu beseitigen, so doch so viel wie möglich zu vermindern. So wird unter anderem für Luftdurchzug gesorgt, was der Bergmann „Wetterführung" nennt. Allbekannt ist die Davissche

Digitized by Google

Sicherheitslampe, deren Wirkung darauf beruht, daß eine innerhalb eines allseitig abgeschlossenen Drahtnetzzylinders befindliche Flamme sich nicht nach außen hin fortpflanzen kann. Die Wettergefahr erkennt der Bergmann bei dieser Lampe an dem besonderen Verhalten der Flamme.

Eine Erfindung der letzten Zeit, die Harkortsche Schlagwetterpfeife, hat viel von sich reden gemacht und sei deshalb hier kurz erwähnt. Der Vorteil dieser neuen Erfindung beruht darin, daß der Methangehalt der Grubenluft durch ein lautes, tönendes Signal angezeigt wird. In einen Zylinder sind zwei auf denselben Ton gestimmte Pfeifen eingebaut und in die eine dieser Pfeifen wird gewöhnliche Luft gefüllt; damit diese Luft nicht entweichen kann, ist sie gegen den die Pfeife anblasenden Luftstrom durch eine sehr dünne Glimmerscheibe abgeschlossen. Die andere Pfeife füllt sich mit derjenigen Luft, die jeweils im Bergwerk „unter Tage" besteht. Trotzdem nun beide Pfeifen auf denselben Ton gestimmt sind, entstehen, wenn sie beide gleichzeitig angeblasen werden, durch die verschiedene Gasfüllung „Schwebungen". Die Töne der beiden Pfeifen harmonieren nicht miteinander. Je größer der Methangehalt der Grubenluft ist, desto mehr Schwebungen treten auf, bis endlich in der Nähe der Explosionsgefahr ein charakteristisches Trillern beginnt. Dieses ist vom menschlichen Ohr nicht zu verkennen und läßt sich über 100 m weit hören.

Erstaunlich ist die Produktion an Kohle durch den Bergbau. 1913 wurden weit über 1000 Millionen Tonnen Kohle (die Tonne zu 20 Zentnern) auf der Erde gewonnen, und wie außerordentlich abhängig wir

Digitized by Google

von dieser Produktion sind, davon haben die letzten Streiks eine schwache Anschauung gegeben durch die für Handel und Wandel gewaltig tiefgreifende Störung; sie läßt ahnen, welche unberechenbaren Folgen es haben müßte, wenn einmal der Industrie längere Zeit hindurch die Kohlen gänzlich fehlten.

Die nachstehenden Tabellen geben eine klare Übersicht über die Steinkohlenproduktion, den Verbrauch usw. Sie entstammen dem ausgezeichneten kleinen Buch von Kukuk „Unsere Kohlen" (1920) und wurden vorwiegend nach dem Jahresbericht des Essener Bergbauvereins zusammengestellt.

Um zu zeigen, welchen Aufschwung die Entwicklung des Bergbaus seit dem Ende des 18. Jahrhunderts nahm, sei beispielsweise durch die Tabelle auf S. 200 die Entwicklung des Oberbergamtsbezirks Dortmund (ausschließlich der linksrheinischen Zechen) von 1792 bis 1912 angeführt.

Digitized by Google

Jahr	Anzahl der Werke	Produktion an Kohle t	Wert der Produktion Mark	Belegschaft
1792	154	176 676	683 667	1 357
1800	158	230 558	1 039 015	1 546
1850	198	1 665 662	10 385 094	12 741
1870	220	11 812 528	67 626 048	51 391
1880	202	22 495 204	102 953 856	80 152
1890	177	35 469 290	282 441 997	127 794
1905	175	65 373 531	548 913 105	267 798
1909	163	82 803 676	823 000 272	340 567
1910	165	86 864 504	849 204 000	345 136
1911	162	91 329 000	888 360 000	352 555
1912	164	100 258 413	—	371 095
1913	167	110 811 590	1 282 012 756	399 569

Die Kokserzeugung der wichtigsten Kohlenproduktionsländer in 1000 t ist aus der folgenden Tabelle ersichtlich.

Länder	1900	1905	1910	1913
Verein. Staaten	16 628	29 240	37 813	42 013
Deutschland . .	—	16 491	23 600	32 168
Großbritannien	—	17 732	19 642	18 645
Rußland	2 244	2 301	2 750	3 816
Belgien	2 435	2 239	3 111	3 450
Frankreich . . .	2 289	2 268	2 688	3 060
Österreich . . .	1 228	1 400	1 999	2 700
Welt (insges.) .	—	76 000	97 000	113 000

Zwei weitere Tabellen veranschaulichen die Kohlengewinnung der Erde von 1895 bis 1913 in 1000 t.

Digitized by Google

Länder	1895	1900	1905
1. Vereinigte Staaten von Nordamerika	175 193	244 653	356 272
2. Großbritannien . .	192 705	228 795	239 918
3. Deutschland	79 169	109 290	121 299
(Braunkohlen). . .	—	—	—
4. Österreich-Ungarn .	10 791	12 440	13 673
(Braunkohlen) . .	21 864	26 668	28 781
5. Frankreich	27 583	23 722	35 218
(Braunkohlen) . .	437	683	709
6. Rußland	9 099	16 157	18 668
7. Belgien	20 458	23 463	21 775
8. Japan	4 811	7 489	11 542
9. China	—	—	—
10. Australischer Bund	4 360	6 487	7 617
11. Britisch-Indien . .	3 595	6 217	8 553
12. Kanada	3 156	5 088	7 953
13. Spanien	1 739	2 583	3 203
14. Transvaal	1 028	459	2 649
15. Neuseeland	739	1 112	1 611
16. Natal	161	245	1 148
17. Niederlande	127	320	495
18. Bosnien	199	395	540
19. Italien	305	480	413
20. Niederl.-Indien . .	131	206	309
21. Franz.-Indien . .	113	194	297
22. Schweden	224	252	322
23. Kapland	78	180	149
24. Britisch-Borneo . .	41	51	59
Insgesamt Kohlengewinnung der Welt	582 939	767 218	935 854

Digitized by Google

Länder	1909	1910	1911
1. Vereinigte Staaten von Nordamerika	411 806	455 025	517 142
2. Großbritannien . .	267 995	268 677	292 044
3. Deutschland	148 788	152 828	191 511
(Braunkohlen) . .	(68 658)	69 531	87 475
4. Österreich-Ungarn .	14 923	15 171	17 760
(Braunkohlen) . .	(33 765)	32 792	35 878
5. Frankreich	37 253	37 862	40 129
(Braunkohlen) . .	(719)	708	793
6. Rußland	25 824	23 927	30 745
7. Belgien	23 518	23 084	22 846
8. Japan	15 213	15 535	119 795
9. China	12 840	14 591	13 500
10. Australischer Bund	12 300	—	10 800
11. Britisch-Indien . .	12 060	—	14 942
12. Kanada	10 904	—	14 706
13. Spanien	3 310	—	3 783
14. Transvaal	2 800	—	7 250
15. Neuseeland	1 741	—	2 212
16. Natal	1 630	—	—
17. Niederlande	1 100	—	1 873
18. Bosnien	696	—	—
19. Italien	555	—	664
20. Niederl.-Indien . .	540	—	610
21. Franz.-Indien . .	365	—	480
22. Schweden	247	—	320
23. Kapland	160	—	—
24. Britisch-Borneo . .	91	—	98
25. Übrige Länder . .	—	—	6 600
Insgesamt Kohlengewinnung der Welt	1 110 010	1 152 000	etwa 1 350 000

Digitized by Google

Als Beispiel für die relativen Verbrauchsmengen der einzelnen Gewerbe diene die Statistik der inländischen Abnehmer des westfälischen Kohlensyndikats (1911).

Es wurden verbraucht von	1911 t	%
Metallhütten aller Art, Eisenhütten Herstellung von Eisen, Stahl usw.	28249869	41,22
Hausbedarf	8789934	12,83
Eisenbahn- und Straßenbahnbau und -betrieb	7926096	11,57
Gewinnung von Steinkohlen und Koks, Brikettherstellung	4860173	7,09
Binnen-, See- und Küstenschiffahrt, Hochseefischerei, Hafen- u. Lotsendienst, Kriegsmarine	3642954	5,32
Industrie der Steine und Erden	3233271	4,72
Gasanstalten	2274513	3,32
Textilindustrie, Bekleidungs- und Reinigungsgewerbe	2000325	2,92
Chemische Industrie	2022015	2,95
Elektrische Industrie	1070744	1,56
Brauereien und Branntweinbrennereien	734690	1,07
Papierindustrie und polygraphische Gewerbe	901499	1,32
Industrie der übrigen Nahrungs- und Genußmittel	646512	0,94
Die übrigen Industrien	2153520	3,17
Summa	68526115	100,—

Digitized by Google

Endlich wird noch Deutschlands Kohlenförderung, seine Einfuhr und Ausfuhr von 1885 bis 1913 von Interesse sein.

Jahr	Förderung		Einfuhr von Kohle, Koks und Briketts		Ausfuhr von Kohle, Koks und Briketts	
	Steinkohle in 1000 t	Braunkohle in 1000 t	Steinkohle in 1000 t	Braunkohle in 1000 t	Steinkohle in 1000 t	Braunkohle in 1000 t
1885	58320	15355	2376	3648	8956	14
1895	79169	24788	5117	7181	10361	19
1905	121299	52512	9400	7945	18157	20
1910	152828	69105	11196	7398	24257	62
1911	160750	73760	10914	7069	27406	58
1913	191511	87475	10540	6986	34574	60

Die gegenwärtigen Abbaumethoden, die Notwendigkeit, viel und schnell produzieren zu können, die Einrichtung unserer Öfen u. a. bringen es mit sich, daß von einer Vergeudung des kostbaren Kohlenmaterials gesprochen werden darf. So wird zunächst die von der Kohle gelieferte Wärme durchaus nicht so weit ausgenutzt, wie es möglich wäre. Vieles geht, besonders im Rauch, unverbrannt als Ruß in die Luft usw. Wo mächtige Kohlenlager vorhanden sind, läßt man oft die unmittelbar daneben befindlichen kleineren Lager unbenutzt, weil der Aufenthalt, auch sie abzubauen, zu groß sein würde.

Es ist also eine wichtige Aufgabe, Methoden zu finden, die der Technik eine bessere Ausnutzung der brennbaren Gesteine ermöglichen. In der vorbereitenden Begründungssitzung des Kaiser-Wilhelm-Instituts für

Digitized by Google

Kohlenforschung gab Emil Fischer ein Bild von dieser Aufgabe.[1] Er sagte: „Jetzt beklagen sich manche Industrien über die hohen Ausgaben für Kohlen. Wenn sie aber damit den doppelten Effekt erzielen könnten, würden sie gern das $1^1/_2$fache des jetzigen Preises zahlen. Also Vermehrung des inneren Wertes der Kohle sollte die Losung hier im Bezirk sein." Da wäre zuerst der Prozeß der Verkokung. Er sei in letzter Zeit sehr vervollkommnet worden, lasse sich aber sicherlich noch mehr verbessern. Leider sei Deutschland in bezug auf flüssige Brennstoffe, z. B. Petroleum, stiefmütterlich bedacht worden. Man müsse also danach streben, aus unseren festen Brennstoffen auf rationelle Weise flüssige zu gewinnen.

Der Geologe ahnt, daß sich hierzu die Faulschlammgesteine am besten eignen werden, und die Methode von Engler (vergl. S. 78) wird vielleicht der technischen Entwicklung zum Ausgangspunkt dienen können.

E. Fischer hält gerade die Erzeugung flüssiger Brennstoffe aus festen für eine fundamentale Aufgabe der Heizstoffindustrie. Um dieses Problem zu lösen, sagt er, müssen alle Hebel der modernen Wissenschaft und Technik in Bewegung gesetzt und alle Möglichkeiten durchprobiert werden. Sicherlich wird gerade hier der paläobotanisch gebildete Geologe dem chemischen Techniker manchen Wink geben und ihm manches unnütze Herumprobieren ersparen können.

Auch die weitere Erforschung des so außerordentlich wertvollen Teeres dürfte neue Früchte tragen können.

---

1 „Stahl und Eisen" vom 14. November 1912.

Digitized by Google

Aber noch ein Problem nennt E. Fischer, von dem er sagt, es würde eine Revolution in der Erzeugung von Kraft hervorrufen. Es ist dies die direkte Erzeugung von Elektrizität aus der in der Kohle enthaltenen Energie, besser aus der Energie der aus ihr zu erzeugenden Gase. Theoretisch besteht nach Fischer hierzu durchaus die Möglichkeit, z. B. durch Oxydation von Wasserstoff oder anderen Gasen in Apparaten nach Art der galvanischen Elemente. — Ein anderer Weg wäre der, die durch Verbrennung von Kohle erzeugte Wärme ökonomisch in Elektrizität umzuwandeln, und zwar durch verbesserte Thermoelemente. So würde man die gespeicherte Energie doppelt so gut ausnützen können, wie dies bisher mit den besten Hilfsmitteln möglich war.

Wir wollen zu den Hinweisen E. Fischers noch etwas hinzufügen, was nach den politischen Vorgängen der letzten Jahre von großer Bedeutung ist. Wir sind in dem, was wir an Steinkohlen zu unserer Verfügung haben, sehr geschmälert worden. Deutschland ist aber Gott sei Dank das an Braunkohlen reichste Land Europas. Wir sollten daher unsern Blick auf diese wenden. Unsere Braunkohlenschätze so weitgehend wie möglich auszunützen, mehr aus ihnen herauszuholen als bisher, das wird ein wichtiger Teil deutscher Zukunftsarbeit sein. Sehr zu begrüßen ist deshalb der Gedanke, eine Anstalt für Braunkohlentechnik an der Technischen Hochschule Berlin zu errichten. Aber nicht nur das darf diesem neuen Institut am Herzen liegen, was in naher Zukunft praktische Vorteile verspricht, auch in jeder anderen Hinsicht muß ein so wichtiges Gestein wie die Braunkohle erforscht werden. Auch da muß

Digitized by Google

die Forscherarbeit mit doppelter Kraft einsetzen, wo zunächst kein greifbarer Nutzen zu erwarten ist. Nur so werden auch die letzten Werte zutage kommen.

Wie wird sich aber die Technik helfen, wenn keine Kohlen mehr vorhanden sind? Vorsichtig mit den in einer berechenbaren Zeit vollständig abgebauten Kohlen umgehen und rechtzeitig an Ersatz denken, das muß der Wahlspruch dessen sein, dem die Zukunft der Industrie am Herzen liegt.

Digitized by Google

Namen- und Sachregister

Ein * bedeutet Abbildung

Agricola, G. 115.
Alaunstobiolith 29. 31.
Albizzia 146.
Algenwasserblüte 26.
Allochthone Kohle 13. 14.
Anthrazit 94. 95. 97. 107.
Aphlebien 160.
Aristoteles 191.
Arundo phragmites 49.
Asche der Kohle 119. 120.
Asphalt 92.
Atemwurzeln 151.
Autochthone Kohle 13. 14.
Autochthonie 120.
Azetylen 73.

Baku 89. 90.
Bärlappgewächse 158.
Baumfarne 157.
Benzol 73.
Bergbaukunde 197.
Bergius 65. 82. 83. 86. 98. 99. 100 ff. 107.
Bergkalk 194.
Bergöl 72.
Bergpech 92.
Bergteer 92.
Bergwachs 92.
Bernstein 128. 190 ff.
Bernsteineinschlüsse 128.
Bertels 75.
Berthelot 73.
Bertrand, C. Eg. 68.
Birkenmoor 24*.
Biolith 29.
Bitumina 21. 61.
Bituminierung 61.
Bituminöse Gesteine 21.
Bituminöser Kalk 63.
Bläser 89.
Blaue Erde 191.
Bodeneigene Kohlen 13. 14. 120.
Bodenfremde Kohlen 13. 14. 120.
Boghead-Kohle, mikroskopisches Bild 67*.
Bohrkern 183.
Bohrlöcher, tiefste 183.
Braunkohle 94.
Braunkohle, gelbe 194.
Braunkohlenzeit 177.
Brennende Erde 112. 113.
Brennender Berg 112.
Brennessel 42.

Digitized by Google

Brettwurzeln 152.
Bruchland 114.
Bunsen 27.
Buschmannskerze 57.

Candolle, C. de 156
Cannel-Coal 61.
Castanea-Blüte 193*
Chamisso, A. v 13. 14.
Charazeen 28.
Chlorophyllkohle 62.
cloches 128
coal-balls 140.
coal-pipes 128.
Conwentz 192.
Cordus, Valerius 12.
Cuvier 75.
Czuchow 183.

Davissche Sicherheitslampe 197
Deckert, E. 177.
Denhardtit 57.
Destillation 69. 74.
Diamant 20.
Diamantbohrverfahren 182.
Diatomeen 25*. 29. 67.
Diatomeen-Pelite 28. 29.
Diffusion 84. 85. 120.
Dolomitknollen 140. 141
Donath, Ed. 3. 104.
Dopplerit 33.
Drift 129. 130.
Druckdestillation 74.
Dynamit 30.
Dysodil 62.

Ehrenberg, Chr. G. 67.
Engler, C. 74. 77. 78. 205.

Erdbrände 110. 115. 119.
Erdkohle, graue 194.
Erdöl, künstliches 73. 74. 81.
Erdpech 92.
Erdteer 92.
Erdwachs 92.
Erle 38. 41.
Erlenstandmoor 43*.
Erlensumpfmoor 39*. 41. 42.
Etagenbau bei Moorpflanzen 170

Fadenalgen 70.
Farne 159. 160. 166.
Faujas-Saint-Fond 118.
Faulgallerte 60.
Faulkohle 66.
Fäulnis 17. 22
Faulschlamm 20. 24*. 30. 60.
— mikroskopisches Bild 25*.
Faulschlammkohle, mikroskopisches Bild 67*.
Faulschlammsand 40.
Faulschlammton 28.
Feinkohle 133.
Fettkohle 100. 106.
Fichte 43
Fimmen 59.
Fimmenit 60.
Fischer, Emil 205. 206.
Fischer, Franz 3.
Flachmoor 37. 39. 105.
Flachmoortorf 46.
Flöz 10.
Flözverdrückung 136.
Früh 59.

Gagat 63.
Gaskohlen 70.

Digitized by Google

Gebirgsbildung 42 180.
Geitner 116.
Gerölle 134 ff
Ginkgo 167. 185.
Glanzkohle 62. 65.
Glyceria fluitans 41.
Goethe 112. 113.
Gothan 126.
Graphit 92. 107
Gray, Asa 178.
Green 59.
Großer Moosbruch 39. 51.
Grubenbrand 115.
Grubengas 78. 95.
Gümbel 108.

Haberlandt, G. 175.
Häcksel 129.
Harkort 198.
Harz 57. 103. 189.
Heiliges Feuer 89. 90.
Hochmoor 37. 46.
Hochmoorbach 49*.
Hochmoore, tote 44.
Hochmoore, tropische 148.
Hochmoorkiefer 171.
Höhenrauch 117.
Holunder 43*.
Holzdrift 130.
Holzkohle 117.
Hopfen 42. 43*.
Hopfenbruch 43*.
Humboldt, A. v 13. 72. 190.
Humulus lupulus 42.
Humus 17. 30.
Humuserde 31.
Humusgesteine 30. 31.
Humusort 33.
Humusorterde 34.
Humusortstein 34.
Humussäure 33.

Inkohlung 19. 61. 102. 103. 108. 110.
Inkrustate 135. 138. 140.
Iris pseudacorus 41.

Jahresringe 161.
Janensch 149.
Jet 63
Juraformation 177. 179.

Kaiser-Wilhelm-Institut für Kohlenforschung 3. 204.
Kalamariazeen 170.
Kalksapropel 28.
Kalzium-Magnesiumkarbonat 140.
Kännelkohle 61.
Kannenpflanze 48.
Karbon 157. 179
Karbonmoore 153. 178.
Kasselerbraun 134.
Katastrophentheorie 75.
Kaustobiolithe 10. 11. 31.
Keferstein, Ch. 11.
Keilblattgewächse 167.
Keilhack 148.
Kernbohrung 182.
Kiefer 43.
Kieselalgen 29. 67.
Kieselgur 28. 29.
Kletterfarne 160.
Knabbenkohle 133.
Kny 164. 166.

Digitized by Google

Kohle, künstliche 98.
— weiße 194.
Kohlenbälle 140.
Kohlenflöz 181.
Kohlengerölle 138.
Kohlenglanz 65.
Kohlenpfeifen 128.
Kohlenstoff 19. 108.
Kohlenwasserstoffe 19.
Koks 69. 70.
— natürlicher 119.
Kokskohle 119.
Kolkwitz 26.
Kölnerbraun 134.
Kolumbus 132.
Konkretionen 135. 139
Koorders 147. 149. 150.
Kopal 58.
Koprolithen 68.
Kräusel 126.
Krenkel 149.
Krümelkohle 134.
Krüppelkiefer 47*. 170.
Kukuk 143. 199.
Kurisches Haff 39. 40.
Kutin 58. 59. 193.

Landklima-Hochmoor 50.
Landsenkung 42. 180.
Lebertorf 60.
Ledum palustre 43.
Leitformen 184.
Lepidodendron 55. 122.
Lepidophyten 169. 172. 173.
Lesquereux, L. 13.
Leuchtgas 69.
Liebig 17.
Liesegang, R. Ed. 84. 85.
Limnische Kohlenreviere 181.
Link, F. H. 12.
Liptobiolith 31. 57. 189. 190.
Loheft 87. 88.
Lummer 20.
v. Luschan 155.

Mächtigkeit 10.
Magerkohle 106.
Magnolie 177.
Makrozystis 77.
Maschinenöl 73.
Matte Wetter 95
Matthiolus 11.
Mattkohle 62.
Memeldelta 39. 40.
Mendelejeff 73.
Mesozoikum 177.
Meteorpapier 70.
Methan 78. 198.
Moder 17.
Mohr 131. 132.
Moissan 73.
Moor 32. 38.
Moorbildung, lokale 56.
— regionale 56.
Moorbirke 43. 48.
Moorbrände 117.
Moortorf 32.

Naphtha 72.
Naphthafontänen 90.
Neumayr, Melchior 15.
Nyssabaum 172.

Ögelsee 78.
Ölteer 70.
Orchis helodes 43.
Orterde 34.

Digitized by Google

Paläozoikum 150. 186.
Palmfarne 177.
Papierkohle 62.
Paralische Kohlenreviere 181.
Pechkohle 106.
Pediastrum 25*.
Petroleum 61. 64. 72. 205.
Petzoldt, A. 96 98.
Pfahlbauten 36
Pflanzenabdruck 183.
Pictet, R. 156.
Pila bibractensis 67.
Plankton 25. 26.
Plutarch 89.
Pneumatophoren 151. 174.
Pollen der Kiefer 25*.
Polytrichum 51.
Potonié, R. 59. 65. 104. 127 144. 155. 156.
Prokop 34.
Pyropissit 194. 195.

Reinschia 67.
Rieselkohle 133.
Rohrkolben 24*.
Rülle 49*.
Rußkohle 117.

Sabatier 73.
Sapanthrakongesteine 68.
Saporta, G. de 55.
Saprokoll 60.
Sapropel 24. 26.
Sapropelit 28. 30. 31.
Sapropelkalke 28.
Sapropeltone 28.
Saracenia purpurea 48.
Sarcocaulon 57.
Sargassomeer 132.
Sargdeckel 128.
Seebälle 141.
Seebernstein 194.
Seeklima-Hochmoore 50.
Segge 41.
Sekundär-allochthone Kohle 133.
Selbstentzündung 110. 116.
Selbstzersetzung 19.
Senderen 74.
Senftenberg 127.
Senkungsgebiet 180.
Sequoia Langsdorfi 126.
Siegelbaum 55. 122. 162. 163.
Sigillaria 55. 122. 162.
Sjörgen 90.
Sonnentau 47.
Spateisenstein 140.
Sphagnum 44. 45.
— mikroskopische Bilder 45*.
Spiegelkohle 106.
Spreewald 39.
Spring 27.
Subfossil 104.
Sumatramoor 150.
Sumpf 38.
Sümpfe 23.
Sumpfflachmoor 145.
Sumpfflora des Karbons 168.
Sumpfgas 78.
Sumpfmoor 38.
Sumpfporst 43.
Sumpfschwertlilie 41.
Sumpfzypresse 126. 127.

Schächte 196.
Schachtelhalme 170.
Schichtung der Kohle 121.

Digitized by Google

Schilfgras 41.
Schilfrohr 41. 49.
Schimper 156.
Schlagwetter 19. 81. 89. 95. 197.
Schlagwetterpfeife 198.
Schlammvulkane 90.
Schlauben 193.
Schmieröl 73
Schuppenbaum 55. 122. 162.
Schütt 27.
Schwaden 18. 95.
Schwarzer See bei Liebemühl 24*.
Schwarzerle 41. 55.
Schwarzkohle 10. 107.
Schwarzwasser 33.
Schwebeorganismen 25*.
Schwefel 11
Schwefelkiesknollen 140.
Schwefelkohle 194.
Schwefelregen 58. 59.
Schwelkohle 194.
Schwere Wetter 18. 81.
Schwingmoor 38.

Stahl, E. 164. 165.
Standmoor 38.
Staub 44.
Staubkohle 134.
Stengelkohle 119.
Steinkerne 127. 128.
Steinkohle 10. 19. 61. 94.
— künstliche 95
Steinkohlenformation 150.
Steinöl 72.
Stickwetter 18.
Stigmariaboden 124.
Stigmarien 122. 168. 171.
Stinkkalk 21. 63.
Stinkkohle 62.
Stollen 196.
Stopes 143.
Streifenkohle 70ff.
Stückkohle 133

Tacitus 34. 191.
Tangablagerungen 131.
Tangkohle 14.
Tangtheorie 131.
Taxodium distichum 55. 126.
Teer 69. 70.
Tertiär 177. 179. 180. 191.
Tertiäre Steinkohle 65.
Theophrast 111.
Toneisenadern 140.
Torf 93.
Torfbildung 46*.
Torfgerölle 138.
Torfkohle 64.
Torfmoos 44. 45*. 149.
Torfwasser 12.
Tropenflachmoor 39. 55.
Tropenflora des Karbons 159. 160ff.
Tropenhumus 146.
Tropenmoore 145ff. 150. 179.
Tropensumpfflachmoor 150.
Turfa 106.
Typha 24*.

Umbra 134.
Underclay 124.
Untermeermoor 138 144.
Untermeertorf 144.
Urtica dioeca 42.

Digitized by Google

Verdunstungskälte 156. 175.
Verkohlung 19. 99. 110.
Verkokung 205.
Verlander 41.
Verlandung 37. 38. 46*.
Vermoderung 16. 22.
Vertorfung 17. 22.
Verwesung 16. 22.
Volkens 171.

Wachse 57.
Wachsharz 57.
Wachskohle 194.
Waldbrände 118. 119.
Walser 36.
Walther, J. 104.
Wasserblüte 26. 59. 70. 76.
Weithofer 11. 104.
Wetterexplosion 197.
Wetterführung 198.
Weule, K. 155.
Widertonmoos 51.

Xerophilie 153. 154.

Zellulose 17 18.
Zwischenmittel 181.
Zwischenmoor 37. 43. 44.
Zykadophyten 177.
Zypressensümpfe 177.

Digitized by Google

Aus den Urteilen über die Bücher der Naturwissenschaft:

(Bd. 14.) „Das große Gebiet der Elektrizität ist in diesem Buche einfach und klar dargestellt. Dasselbe enthält trotz seiner Kürze alles Wissenswerte. Mit wenigen Mitteln und geringem Aufwand von Apparaten werden die elektrischen Erscheinungen in deutlicher, manchmal überraschender Weise ermittelt. An verschiedenen Stellen findet sich ein Fingerzeig, wie man mit sehr primitiven Mitteln elektrische Apparate herstellen kann. Das Buch ist für den Lehrer von Nutzen, für den Schüler ist es ein nicht zu unterschätzendes Hilfsmittel, seine physikalischen Kenntnisse zu festigen und zu erweitern. Das Namen- und Sachregister sowie die Tafeln mit den Abbildungen der Apparate sind von großem Vorteil."

Blätter f. d. bayer. Gymnasialschulwesen, München.

(Bd. 16.) „Das Bändchen ist reichlich ausgestattet mit guten textlichen Abbildungen und mit einer großen Anzahl schöner Tafeln, welche u. a. hochinteressante Bilder, die gelegentlich der Grönlanderpedition der Gesellschaft für Erdkunde und gelegentlich der deutschen Südpolarexpedition aufgenommen wurden, enthalten. So reiht sich dieses vorzügliche Büchlein, was Inhalt sowie Ausstattung betrifft, würdig an die übrigen Bände der Bücher der Naturwissenschaft und wird sich sicherlich zahlreiche Freunde erwerben."

Monatshefte für Mathematik und Physik, Wien.

„Zu einem fabelhaft billigen Preis wird hier ein ganzes Kompendium der vergleichenden Anatomie geboten, das sich als eine Art Auszug aus dem auch hier gelobten Werke des Verfassers über den Frosch darstellt und nur mehr vergleichende Gesichtspunkte bringt. Wir empfehlen diese Lektüre jedem Lehrermitglied, das seine Zoologiekenntnisse auffrischen will. Die Darstellung berücksichtigt alle Fortschritte der Kenntnisse, die Ausstattung ist hervorragend." Kleinwelt, Ztschr. d. D. mikr. Ges.

(Bd. 18./19.) „Schon diese kurze Aufzählung läßt den reichen Inhalt des Buches ersehen, den der Verfasser in klarer, einfacher und anregender Weise vorzutragen verstanden hat. Die Anschauung wird durch zahlreiche, durchweg sehr gute und instruktive Bilder unterstützt, die vielfach nach Originalpräparaten gezeichnet sind. Ein sehr ausführliches Gesamtregister erleichtert die Benützung des sehr preiswerten Buches, zu dem jeder Lehrer der Zoologie gerne greifen wird, zumal da es vor anderen Werken den seltenen Vorzug guter Lesbarkeit voraus hat."

Blätter f. d. bayer. Gymnasialschulwesen, München.

Digitized by Google

(Bd. 20.) „Das Werkchen, das auf wenigen Seiten viel Tatsachenmaterial bringt, hält das Interesse des Lesers bis zum Schlusse wach. Zahlreiche Tafeln und Abbildungen beleben das Wort, verschiedene Tabellen erleichtern die Übersicht und den Vergleich. Auch ein Namen- und Sachregister fehlt nicht. Der Lehrer der Erdkunde wird aus dem Gebrauch desselben Kenntnisse und Anregung schöpfen."

Blätter f. d. bayer. Gymnasialschulwesen, München.

(Bd. 20.) „Der Verfasser hat es in dem vorliegenden Büchlein meisterhaft verstanden, die Grundlehren der Ozeanographie in gemeinverständlicher und anregender Weise darzustellen und auf die neuesten Forschungen auf diesem Wissenszweige einzugehen. Dabei wurden im Interesse für den großen Leserkreis der gebildeten Laien schwierige Einzelheiten übergangen. Wir wünschen der kleinen, sehr anregenden Schrift, die mit einigen sehr gelungenen Illustrationen und Tafeln geziert ist, recht viele Leser."

Zeitschr. f. Realsch., Wien.

(Bd. 20.) „Der Verfasser hat es mit gutem Glück unternommen, innerhalb eines Bändchens von 190 Seiten einen Abriß der Meereskunde zu geben, wissenschaftlich, aber doch nicht zu abstrakt, um nicht jedem die Möglichkeit zu geben, ihm zu folgen. Wir bekümmern uns gemeinhin recht wenig um die mit einer Fülle von Geheimnissen angefüllte Wissenschaft der Meereskunde; sollte es aber nicht jetzt manchem willkommen sein, einen zuverlässigen Führer in das Reich Neptuns zu gewinnen? Dem sei das Büchlein des Krefelder Professors bestens empfohlen. Es bietet eine ausgezeichnete Einführung in die Ozeonologie, ist dabei flott und frisch geschrieben. Die wohlfeile Ausgabe in Reclams Universal-Bibliothek ermöglicht die weiteste Verbreitung des im besten Sinne volkstümlichen Werkes."

Posener Neueste Nachrichten.

(Bd. 22/23.) „Der Verfasser behandelt den Stoff streng wissenschaftlich, doch in einer leicht faßlichen und anziehenden Form; seine Darstellung gewinnt erhöhtes Interesse, zumal er sich nicht begnügt, den Leser mit den Resultaten der wissenschaftlichen Forschung bekannt zu machen, sondern ihn die Wege führt, die die Wissenschaft gegangen ist, um zu ihnen zu gelangen. Dem Lehrer bietet das schön ausgestattete Werkchen willkommene Gelegenheit, sich rasch und zuverlässig über den Säugetierorganismus und seine Leistungen zu orientieren; er wird es nicht aus der Hand legen, ohne reichen Gewinn und wertvolle Anregungen empfangen zu haben, die auf seinen Unterricht befruchtend zu wirken geeignet sind."

Zeitschrift für die österr. Gymnasien, Wien.

Digitized by Google

Digitized by Google

THIS BOOK IS DUE ON THE LAST DATE
STAMPED BELOW

MAR 18 '68

RENEWED BOOKS ARE SUBJECT TO IMMEDIATE
RECALL

Digitized by Google

3 1175 00649 2329

Nº 555033

Potonié, H.

TN800
P85

Call Number:

555033
Pontonié, H.

TN800
P85

PHYSICAL
SCIENCES
LIBRARY

Digitized by Google